

2016 年湖北省梅雨期暴雨特征及灾情影响分析¹

岳岩裕¹, 吴翠红¹, 毛以伟¹、秦鹏程², 周悦², 叶丽梅²

(1. 武汉中心气象台, 湖北 武汉 430074; 2. 武汉区域气候中心, 湖北 武汉 430074)

【摘要】：通过对 2016 年湖北省梅雨期降雨量特征及其与灾情之间的关系进行分析, 得到承灾体与雨量的关系及暴雨致灾阈值。结果表明, 梅雨期 6 轮降水灾度均在 3 以上, 6 月 30~7 月 6 日的暴雨过程灾度高达 8。不同承灾体(受灾人口、倒损房屋、受灾面积)与直接经济损失均为正相关, 其中倒损房屋最高, 达 0.9 以上。灾情发生阈值日最大降雨量和过程雨量分别为 35mm 和 50mm。过程降雨量和有效降雨指数与灾情的相关性较好, 大于 0.5。承灾体中死亡人口集中区域与降水量大值区对应, 分散区域与局地短时强降雨有关; 而农作物绝收面积在降雨强度指数相当或偏低时, 降雨叠加效应会促使其占比增加。

【关键词】：梅雨期; 暴雨; 过程降雨量; 灾情

【中图分类号】：P458

【文献标识码】：A

【文章编号】：1004-8227 (2018) 02-0412-09

【DOI】：10.11870/cjlyzyyhj201802021

湖北省地处典型的季风气候区, 暴雨频次高, 持续时间长, 影响广, 危害非常严重。省内地貌类型复杂多样, 河流湖泊众多, 季风气候明显^[1]。每年夏初, 在湖北省宜昌以东 28°~34°N 的江淮流域常会出现连阴雨天气, 雨量很大。长时间、高强度的降雨极易诱发山洪、滑坡、泥石流等各类次生灾害, 而气象灾害的致灾因子、承灾体和孕灾环境的不同都会产生不同的影响。

暴雨洪涝灾害是指一段时间内的强降雨或持续较长时间的降雨引起的河水泛滥、河道决口及水库垮坝造成的淹没田地、平地积水, 对国民经济和人民生活财产破坏性严重的气象灾害^[2]。周月华等^[3]提出可以基于历史和实时气象资料建立综合指数来描述灾害性天气过程本身的程度, 实现灾害性天气过程预评估方案。暴雨洪涝灾害致灾等级可以作为评估灾害的基础, 秦鹏程等^[4]提出利用有效降水指数(EP)来研究湖北省暴雨洪涝强度, 指出频发重灾区域主要位于鄂西南、鄂东南及鄂东北地区, 这与湖北省的地形和降水分布特征一致。沈澄等^[5]指出江苏梅雨锋引发的灾害频次最多, 引发暴雨洪涝灾害的临界雨强是 18~20mm/h, 过程最大 24h 降水量的临界值为 35~40mm。学者们进一步基于 GIS 空间分析技术, 从致灾因子、孕灾环境、承灾体的研究出发, 构建暴雨洪涝灾害评价模型, 进行风险评估^[6, 7]。在灾情分析方面, 徐敬海等^[8]认为灾度是灾害社会属性的定量描述, 提出了以死亡人数、受灾人数以及直接经济损失为基本影响因子的灾度计算模型; 王豫燕等^[9]又从暴露度和脆弱性角度出发, 对人口、农作物和经济进行分析。

对湖北省而言, 暴雨过程的影响主要表现在湖泊水库安全度汛; 中小河流洪水、山洪、地质灾害; 城市洪涝灾害; 局部雷暴、大风等强对流天气灾害以及长江上游降水与本地降水叠加效应等。以往对于暴雨灾害的研究多集中于灾情特征, 很少将降雨量与灾情联系起来研究暴雨致灾阈值。2016 年梅雨期间降雨过程频繁、强度大、范围广、累计雨量大, 因而造成的灾害重。气象部门的早预报、早服务、早预警为相关防汛部门早部署提供了决策支持, 但同时也发现建立暴雨与灾情之间的联系, 可以

¹【收稿日期】：2017-04-27; 【修回日期】：2017-05-18

【基金项目】：国家自然科学基金(41505121, 41675136); 湖北省气象局科技发展基金(2017Y01)

【作者简介】：岳岩裕(1985~), 女, 高级工程师, 博士, 主要从事雾和降水的理化特征研究。E-mail: yueyanyul23@163.com

为灾情评估提供客观依据。因此本文从多种指标和相关性角度出发，对此次“98+”过程从以下几方面进行了分析：梅雨期降水过程的分布特征及洪涝程度；不同承灾体受灾程度及之间的相关性；最后通过建立灾情信息与降水量信息之间的关系，来研究主要参考标和致灾阈值。

1、资料和方法

降水量资料为 2016 年 6 月 18 日 08 时~7 月 21 日 08 时国家站和区域站的逐小时降雨量；降水历史数据来自湖北省气象信息与技术保障中心资料库；灾情资料为各县市灾情直报和月报信息及省民政厅发布的全省灾情信息，包括经济损失、受灾人口、死亡人口、农业受灾面积等。

根据徐敬海^[8]提出的灾度计算模型结合沈澄^[5]提出的加入农作物受灾面积，计算湖北省灾度，计算公式如下：

$$D = \log_{10}(P + 1) + \log_{10}K + 10^{(E/GDP)} + 10^{(SD/SA)} \tag{1}$$

式中：D 为灾度；P 为死亡人口（人）；K 为受灾人数（万人）；E 为直接经济损失（单位与 GDP 一致）；SD 为受灾面积；SA 为耕地面积。

EP 指数^[4]反映的暴雨洪涝空间格局与实际灾情相符，洪涝发生的范围和强度与农作物受灾面积也有较好的对应关系。

$$EP = \sum_{t=0}^N a^t P_t \tag{2}$$

式中：a 为降水衰减参数，取值 0~1；P_t 为 t 时刻降水量；t 为距离检测日的日数；t=0 表示检测当日，t=1 表示前一日。

降雨过程综合强度是日降水强度、覆盖范围和持续时间 3 个指标共同作用的结果，在评估降水过程综合强度时 3 个评价指标缺一不可。王莉萍等^[10]建立了降水过程综合强度评估模型，计算降水过程综合指数。评估区跨越江汉和江淮两个区域，计算公式如下：

$$RPI = \bar{I} \times C \times \bar{T} \tag{3}$$

式中： $\bar{I}$ 为平均日降水强度指数；C 为覆盖范围指数； $\bar{T}$ 为平均持续时间指数。

表 1 降雨过程综合强度等级划分表

降雨过程综合强度指数范围	降雨过程综合强度等级
1≤RPI≤12	特强（I 级）
12<RPI≤24	强（II 级）
24<RPI≤36	较强（III 级）
36<RPI≤64	中等（IV 级）

2、结果与分析

2.1 降水量及洪涝分布特征

2016 年 6 月 18 日入梅，接近常年入梅时间（6 月 17 日），7 月 21 日出梅，较常年出梅时间（7 月 10 日）偏晚 11d，梅雨期长度 33d，较常年梅雨期长度（23.8d）偏多 9d。梅雨期体现出降水过程多、雨量大、强度猛、范围广、超极值和创历史等六大特点。过程多：梅雨期共经历 6 轮强降雨过程（6 月 18~20 日、6 月 23~25 日、6 月 27~28 日、6 月 30~7 月 6 日、7 月 12~15 日、7 月 17~20 日）。雨量大：累计雨量鄂西北 100~300mm、局地 300~400mm，其他大部地区 300~900mm，随州东部、荆门东部、孝感、黄冈、武汉和恩施东部等地局部 900~1500mm，与梅雨期历史平均值（273.4mm）相比降雨量偏多 1.2 倍。强度猛：小时最大雨强达 100~160mm，最大值为 7 月 8 日 00 时宜昌龙泉山村 159mm，其次为 7 月 20 日 16 时天门皂市镇 127mm。范围广：全省所有县市梅雨期均出现过暴雨，最多的为应城出现了 12 个暴雨日，降水量大于 100mm 的区域面积与湖北省面积比值有 4 次过程超过 10%，过程 4 甚至达到 61%，区域性暴雨日分别为 1、2、1、6、1、2d，占过程总降水日数 25%~85%。超极值：江夏等 27 县市（区）出现极端日降水事件，其中麻城、大悟、红安、江夏、蔡甸和建始日降水量突破历史极值，麻城、大悟、红安日降水量达百年一遇。创历史：6 轮强降雨过程累计造成我省直接经济损失 589.61 亿元，造成严重的人员伤亡和经济损失，产生了“98+”的社会影响力。

6 轮强降雨过程中第 1、2、3、4、6 轮属于大范围持续性强降雨（图 1），第 5 轮属于分散性强降雨。第 1 轮强降雨过程发生在鄂东南北部、鄂东北、江汉平原东部和鄂西南南部；第 2 轮强降雨相较于第 1 轮雨区缩小略有北移，但是整体上有雨循旧路的特点；第 3 轮强降雨带南压至鄂东南，范围进一步收窄，250mm 以上的区域站数由第一轮 42 站收缩到 0 站；第 4 轮强降雨过程与第一轮发生区域重叠，250mm 以上的雨区范围甚至达到全省面积的 31%，范围最广；第 6 轮强降雨主要发生在鄂西南至江汉平原北部和鄂东北西部一线，虽然 250mm 以上发生区域仅有 6%，但降雨相对集中因此产生的影响也很大；而第 5 轮强降雨过程中“坨子雨”的特点明显，强降雨区分散。而与常年同期相比（图 2），仅鄂西北部分地区偏少 3 成，其他大部地区偏多 8 成~3 倍，鄂东北中西部、江汉平原北部、鄂东南北部偏多 2~3 倍。

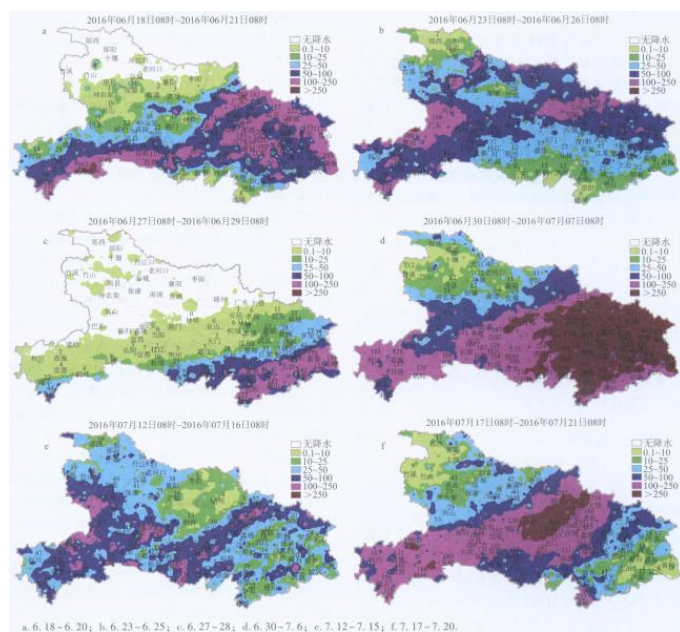


图 1 湖北省梅雨期六轮降水过程的累计降水量

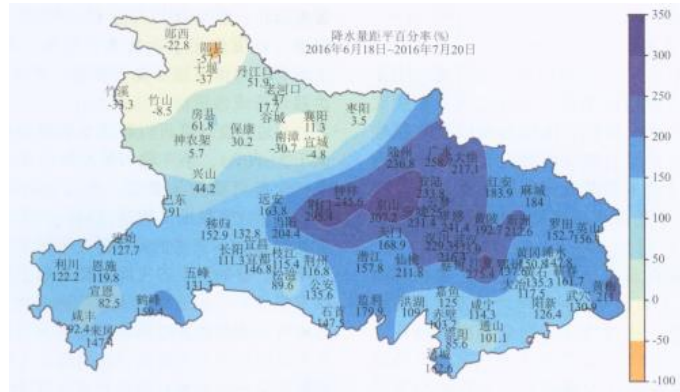


图2 湖北省梅雨期降水量距平百分率分布

郭广芬等^[11]采用耿贝尔极值 I 型分布和百分位方法，基于日最大降水量和过程最大降水量计算湖北省暴雨洪涝各等级的阈值。本文洪涝监测图是基于有效降水指数（EP）构建单站和区域暴雨洪涝监测、评估指标^[4]，确定降水衰减参数及致涝阈值后，应用在暴雨洪涝过程的监测中。暴雨洪涝的等级划分主要包括轻度、中度、重度 3 级。图 3 为 6 轮降水过程洪涝监测图，过程 1（图 3a）综合强度为强（II 级），降雨区集中在鄂东北，与洪涝轻度以上区域一致；其中中度-重度洪涝区域面积与过程 2、3（图 3b、c）相比基本相当，但实际上过程 1 降雨量更大、灾情更重，过程 1 为梅雨期第一轮降雨，前期降水不明显，因此在洪涝等级上中度-重度范围不大。过程 5（图 3e）垅子雨特点明显，主要考虑瞬时致灾，综合强度等级较强（III 级），洪涝程度最轻，只处于轻度，导致 7 市 24 县出现灾情，致灾程度没有累积致灾明显。过程 4（图 3d）和过程 6（图 3f）洪涝灾害最严重，属于特强（I 级），其中过程 4 整个东部地区洪涝程度均处于中度-重度级别，全省受灾面积广，达到 17 市 83 县。

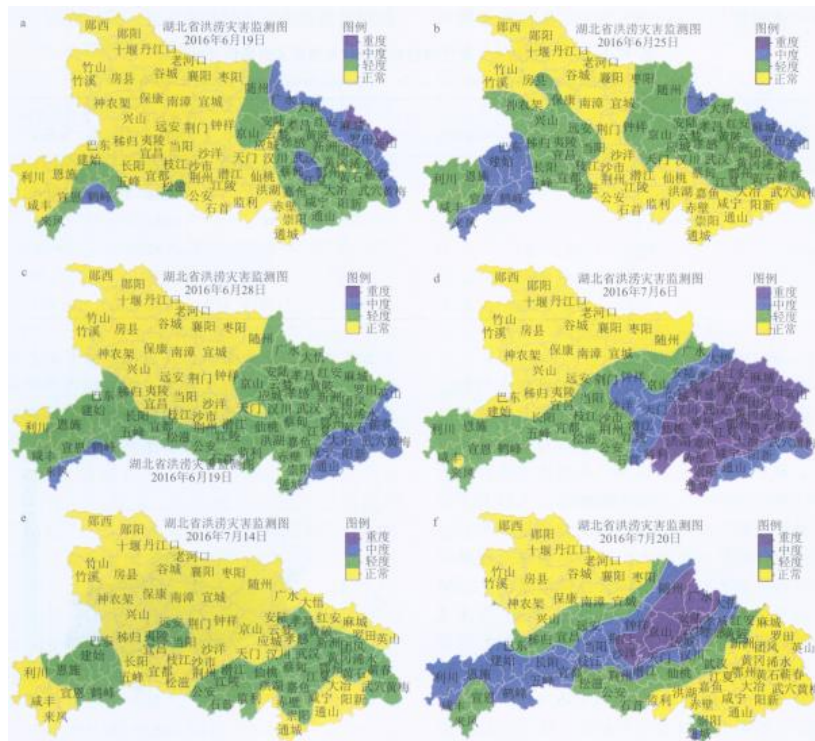


图3 六轮降雨洪涝等级强度

2.2 灾情特征

2.2.1 灾情基本情况

强降水引发了大量的山洪、泥石流、中小河流洪水以及城市洪涝灾害。死亡人口、受灾人口、农作物受灾面积、倒塌房屋以及直接经济损失等 5 方面是自然灾害统计工作的主要内容^[12, 13]。表 2 为 6 轮降水过程降雨量特征及灾情基本信息。6 轮降水国家站出现 100mm 以上降水的站数分别为 20、8、9、53、8、33 站，均出现了区域性暴雨过程，过程 4 区域性暴雨日高达 6d。大面积长时间强降雨的发生促使综合强度等级高，灾情特征与综合强度等级相对应，第 4、6 轮降雨属于特强 I 级，其受灾情况最为严重，其中第 4 轮强降雨过程几乎所有县市均有灾情出现，近 1/5 的人口受灾，农作物的受灾面积高达 1330200hm²。强降水同时导致了严重的汛情，监利到九江除黄石外全线超警戒水位；汉江汉川站水位超警戒；汉北河超保证，创历史记录，富水、环水、淝水、大富水超警戒水位；梁子湖超保证，斧头湖、长湖、洪湖超警戒水位。

通过灾度计算可以看出 6 轮降水过程灾度均大于 3（表 2），第 4 轮和第 6 轮的灾度达到 6 以上，全省启动防汛 III 级、重大自然灾害暴雨 II 级、自然灾害救助 II 级应急响应，其中第 4 轮灾度达到 8.22。灾害的分级研究不同学者给出的标准不一，徐敬海^[8]的灾度计算是基于亚洲地区的巨灾提出的，其达到巨灾对应的灾度为 9.1。江苏省^[5]的灾度计算时考虑到受灾人口降低，在计算灾度时是以人为单位，且把伤亡人数和受灾人数放在第一位，修订后的巨灾灾度为 7。可以看出灾害等级划分有着明显的局限性，灾情大小难以互相比对^[14]，因此湖北省基于灾度数据对灾害级别的描述需要大量样本来进一步分析。

表 2 2016 年入梅以来 6 轮区域性强降水过程降雨及灾情情况对比

过程时间	受灾县市	综合强度等级	100 mm 以上面积比（%）	灾度	死亡及受灾人口贡献比（%）	受灾人口（万人）	直接经济损失（亿）
06-18~06-20	15 市 52 县	强（II 级）	20	5.86	63	360.36	25.12
06-23~06-25	9 市 30 县	强（II 级）	12	4.41	54	60.92	6.3
06-27~06-28	6 市 23 县	强（II 级）	7	4.47	54	85.87	4.68
06-30~07-06	17 市 83 县	特强（I 级）	61	8.22	60	1 347.55	338
07-12~07-15	7 市 24 县	较强（III 级）	6	3.18	37	14.98	1.5
07-17~07-20	13 市 53 县	特强（I 级）	39	6.26	63	425.88	214.01

2.2.2 人口受灾规律

洪涝灾害对社会的影响首先表现在人员伤亡上，人口密度和孕灾环境的危险性都会造成人口脆弱性的不同。葛鹏^[15]指出人口密度、经济密度是决定南京市洪涝灾害承灾体易损性水平高低的主要因素。下图给出了梅雨期间死亡人口与县市降雨量分布情况，降雨量色斑图是通过县市站点雨量插值得到的。死亡人口的分布情况与强降雨的分布特征基本吻合（图 4），在降雨量的大值区域也是死亡人口相对集中的区域，表现在鄂东北至江汉平原北部一带。蕲春、广水、麻城、江夏为死亡人口最多的区域，4 个地区的累积降雨量分别为 729.9、891、956.4、1086.7mm。除此，恩施地区的死亡人口也相对较多，这与当地降雨量大、地质脆弱有关，如 6 月 24 日建始县天鹅池煤矿周边突发山洪，煤矿职工小食堂后墙倒塌，造成 2 人死亡 2 人受伤。其他地区分散的死亡人口与局部的强降雨天气有关，如宜昌市夷陵区出现短时强降雨，受其影响当地多处发生山洪、泥石流，部分农房倒塌，导致 4 人被埋死亡。人口的死亡类型主要表现为溺亡（占 40%以上）。脆弱性是承灾体受到自然灾害外力作用下的损坏程度，人口的脆弱性用死亡人口和受伤人口之和和占总受灾人口的百分比来反映，湖北省六次过程人口脆弱性变化范围在 0.0002%~0.0007%。江苏省近 28a（1984~2011 年）的平均值为 0.05%，至 21 世纪，平均脆弱度下降到 0.008%。脆弱性呈下降趋势，即灾害造成的人口伤亡的风险降低^[9]。与江苏相比，湖北省 2016 年梅雨期的人口伤亡风险更低。

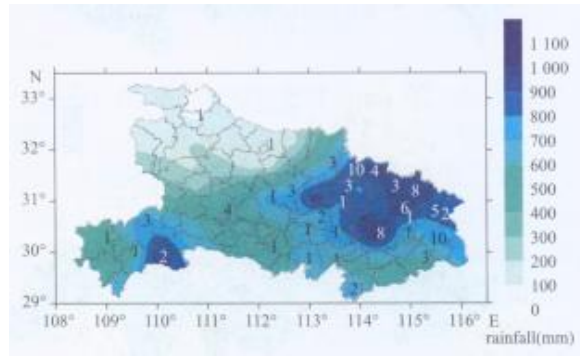


图 4 死亡人口与降雨量空间分布（黑色和白色数字为死亡人口，（个））

2.2.3 农作物受灾规律

农业物作为承灾体，由于其直接暴露在致灾因子影响下，其易损性较高。农田渍水、农田淹没冲毁及雨日低温寡照都会给农作物生长带来不利影响，造成减产甚至绝收。就灾情整体分布而言，农业受灾面积较大出现在黄冈、荆州、荆门、潜江、武汉、仙桃、天门，主要集中在江汉平原和鄂东北，而降水的大值区发生在鄂西南南部、江汉平原和鄂东北，江汉平原地处平原地带农业耕地面积大，因此江汉平原地区所有市县均受灾严重。图 5 给出了 6 轮强降水过程的强度指数、农作物受灾面积、绝收面积与受灾面积比值的变化。6 轮强降水过程的强度指数分别为 85.17、55.43、82.98、96.33、36.98 和 82.64，农作物的受灾面积也与强度指数趋势基本一致，分别为 233.67×10^3 、 43.07×10^3 、 93.07×10^3 、 1330.2×10^3 、 6.8×10^3 、 $404.91 \times 10^3 \text{hm}^2$ 。过程 3 虽然 100mm 以上降水的面积比过程 2 小，但是过程强度指数高，且过程 2 中发生区域在鄂西南高山地区，农作物分布和人口分布可能都不如东部密集 因此其受灾面积没有过程 3 大。绝收面积和受灾面积的比值可以看出过程 2 虽然强度不如过程 1，但绝收面积的比值增长，说明两次过程产生了叠加效应，促使绝收面积所占比例增长；过程 3 发生区域与过程 2 没有重叠雨区，且与过程 1 发生时间有一定间隔，因此绝收面积占比下降。过程 4 由于过程持续时间长、强度大，造成的受灾面积和绝收面积都是最大的。过程 5 由于属于分散性的强对流过程，受灾面积最小且绝收面积占比低；过程 6 受灾面积仅次于过程 4，但其绝收面积比例最大，主要因为此次过程多站创历史极值、强度大，虽然雨区没有过程 4 大，但是梅雨期前五轮降水影响造成江河湖库普遍高水位运行，漫堤现象严重，致灾程度高。

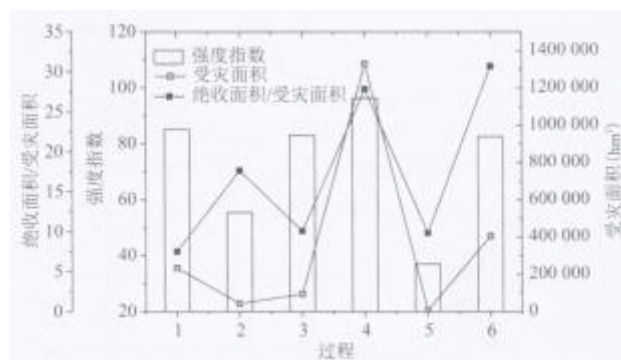


图 5 6 次过程强度指数、受灾面积、绝收面积与受灾面积比值的变化

2.2.4 承灾体与经济损失的关系

建筑物的损坏和倒塌是造成直接经济损失的重要组成，周悦等^[16]对损坏房屋与经济损失的关系研究中发现 决定系数为 0.6，

能够较好的反映经济损失的多少。通过图 6 回归分析发现，倒塌房屋和损坏房屋数与直接经济损失均为正相关，分别建立的回归方程： $y=-2271+10x$ 、 $y=7246+28x$ 其相关系数均高达 0.9 以上，效果很好。六轮强降水过程中损坏房屋数分别为 7317、3061、14%、82600、923 和 101800 间；倒塌房屋/损坏房屋分别为 0.38、0.17、0.69、0.38、0.41 和 0.11。损坏房屋数与直接经济损失的正相关性表明损坏房屋数少、灾情小。倒塌房屋与损坏房屋之间的正相关性也比较高，随着损坏房屋数的增加，倒塌房屋数也在增长。但在第 2 轮和第 5 轮过程倒塌房屋/损坏房屋占比增加，为最大，但是强降水范围比第 1、4、6 轮要小，意味着灾情发生区域较小，瞬时致灾的特征明显，其破坏性强，倒塌房屋数多。

同时引入受灾人口和农作物受灾面积，探讨其相关性。与倒塌房屋数和损坏房屋数与相比，受灾人口及受灾面积与直接经济损失之间的正相关系数与倒塌房屋相比降低，但其正相关性仍比较高，分别达到 0.8 和 0.7。

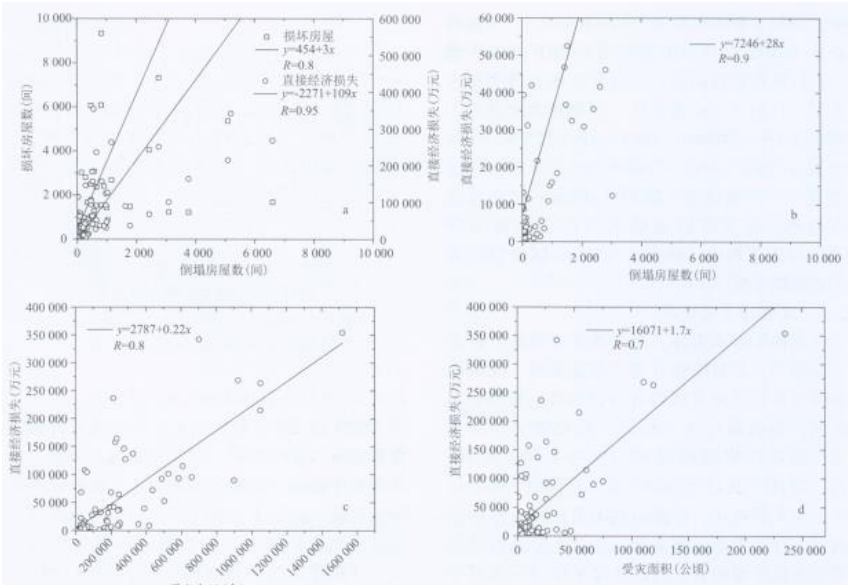


图 6 各类灾情与直接经济损失之间的关系

2.2.5 致灾因子与灾情关系

灾情是致灾因子、孕灾环境的危险性与承灾体的易损性共同作用的结果^[12]。强降水作为致灾因子其与承灾体之间存在一定联系，瞬时致灾和累积致灾主要由降水过程的雨强、累积雨量和持续时间决定。为了与灾情信息统一，基于县市的降雨量及雨强数据进行分析，有灾情上报的县市其最大小时雨强、最大日降水量、过程雨量、有效降雨指数的变化范围分别为：7~64mm/h、20~285mm、46~585mm、37~452。结合灾情数据可以看出，湖北省不同县市出现灾情时雨强小于 20mm/h 占到 43%，短时强降水并不是必要条件；累积致灾特征明显，灾情发生时 94%的站点单日最大降雨量超过 35mm、过程雨量超过 50mm。个别灾情出现在雨强 15mm/h 左右、过程雨量低于 50mm 的情况下，这些灾情主要出现在山区，在平原地区出现上述情况时 EP 值高达 100，说明灾情是由前期的降雨累积效应引起的。

通过分析过程降雨量、有效降雨指数、日最大降雨量、最大小时雨量与不同灾情数据之间的相关关系可以看出（表 3），最大小时雨强、最大日降雨量的相关性一般，均低于 0.4；过程降雨量和有效降雨指数与不同灾情的关系有所提高，尤其是与受灾人口、倒塌房屋、直接经济损失，超过 0.5，其中过程降雨量的关系要略优于 EP。因此主要利用过程降雨量来建立回归关系。因此主要考虑建立过程降雨量与受灾情况（受灾人口和直接经济损失）之间的关系，随着过程降雨量的增长，受灾人口和直接经济损失也呈增长趋势，尤其在降雨量大于 150mm。降雨量大，更易诱发各类次生灾害，对农业、交通、建筑产生破坏，从而增

加受灾人口和经济损失。但是降雨量是灾情出现的诱因，灾情发生类型（山洪、中小河流洪水、滑坡等）和灾情产生的影响与当地的地形、地质地貌、人口密度、河流湖泊分布等都有关。通过建立过程降雨量与受灾人口、倒塌房屋和直接经济损失之间的回归方程可以看出决定系数分别为 0.31、0.35 和 0.36，相关性一般，因此回归方程直接用来计算误差偏大，但其可以反映相关性和变化趋势。

表 3 2016 年梅雨期灾情与降雨特征量的相关关系

	受灾人口	倒塌房屋	受损房屋	直接经济损失	受灾面积
过程降雨量	0.56**	0.61**	0.20*	0.60**	0.36**
有效降雨指数	0.52**	0.59**	0.27*	0.56**	0.32**
最大小时雨强	0.26*	0.22*	0.21*	0.19	0.16
最大日降雨量	0.40**	0.41**	0.28**	0.35**	0.26*

注：*相关系数通过了 0.05 的显著检验；**相关系数通过了 0.01 的显著检验。

3、结 论

（1）2016 年梅雨期较常年梅雨期偏多 9d。梅雨期体现出降水过程多、雨量大、强度大、范围广、超极值、创历史等 6 大特点。共经历 6 轮强降雨过程，大部地区降水量 300~900mm，与历史平均值相比偏多 1.2 倍；江夏等 27 县市（区）出现极端日降水事件。其中第 4、6 轮降雨综合强度等级属于特强 I 级，灾度达到 6 以上，受灾情况最为严重。

（2）湖北省 6 次过程人口脆弱性变化范围在 2E-4%~7E-4%。蕲春、广水、麻城、江夏为死亡人口最多的区域，其与降雨量的大值区域对应；分散的死亡人口与局地强降雨有关。在降雨强度指数相当或偏低时，降雨过程的叠加效应会促使绝收面积占比增加；当两次降雨过程雨区范围不重叠或者间隔时间较长时，会造成绝收面积占比下降。倒塌、损坏房屋数与直接经济损失之间的正相关系数比受灾人口及受灾面积的高，达 0.9 以上。

（3）通过研究降雨特征量与灾情的关系发现，湖北省不同县市出现灾情时累积致灾特征明显，灾情发生时 94%的单日最大降雨量超过 35mm、过程雨量超过 50mm。过程降雨量和有效降雨指数与不同灾情的关系有所提高，超过 0.5。

[参考文献]:

[1]崔讲学. 湖北省公共气象服务手册[M]. 气象出版社，2014.

[2]温克刚，减建升. 中国气象灾害大典[M]. 北京：气象出版社，2008：76-77.

[3]周月华，郭广芬. 基于多指标综合指数的灾害性天气过程预评估方案[J]. 气象，2010，36（9）：87-93.

[4]秦鹏程，刘 敏，李兰. 有效降水指数在暴雨洪涝监测和评估中的应用[J]. 中国农业气象，2016，37（1）：84-90.

[5]沈 澄，孙 燕，尹东屏，等. 江苏省暴雨洪涝灾害特征分析[J]. 自然灾害学报，2015，24（2）：203-212.

[6]万 君，周月华，王迎迎等. 基于 GIS 的湖北省区域洪涝灾害风险评估方法研究[J]. 暴雨灾害，2007，26（4）：328-333.

[7]俞 布，缪启龙，潘文卓，等. 杭州市台风暴雨洪涝灾害风险区划与评价[J]. 气象，2011，37（11）：1415-1422.

-
- [8]徐敬海, 聂高众, 李志强, 等. 基于灾度的亚洲巨灾划分标准研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21 (3) : 64-69.
- [9]王豫燕, 王艳君, 姜彤. 江苏省暴雨洪涝灾害的暴露度和脆弱性时空演变特征[J]. 长江科学院院报, 2016, 33 (4): 27-32.
- [10]王莉萍, 王秀荣, 王维国. 中国区域降水过程综合强度评估方法研究及应用[J]. 自然灾害学报, 2015, 24 (2) : 186-194.
- [11]郭广芬, 周月华, 史瑞琴, 等. 湖北省暴雨洪涝致灾指标研究[J]. 暴雨灾害, 2009, 28 (4) : 357-361.
- [12]张卫星, 史培军, 周洪建. 巨灾定义与划分标准研究—基于近年来全球典型灾害案例的分析[J]. 灾害学, 2013, 28 (1) : 15-22.
- [13]万金红, 张葆蔚, 谭徐明, 等. 洪涝灾情评估标准关键技术问题的探讨[J]. 灾害学, 2012, 27 (4) : 55-59.
- [14]冯利华. 灾害等级研究进展[J]. 灾害学, 2000, 15 (3) : 72-76.
- [15]葛 鹏, 岳贤平. 洪涝灾害承灾体易损性的时空变异—以南京为例[J]. 灾害学, 2013, 28 (1) : 107-111.
- [16]周 悦, 周月华, 叶丽梅, 等. 湖北省旱涝灾害致灾规律的初步研究[J]. 气象, 2016, 42 (2) : 195-203.