

Climate：基于降雨标度特性的IDF关系及其在加泰罗尼亚的空间分布研究

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/42712.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

Climate：基于降雨标度特性的IDF关系及其在加泰罗尼亚的空间分布研究。 论文标题：Scaling Properties of Rainfall as a Basis for Intensity – Duration – Frequency Relationships and Their Spatial Distribution in Catalunya, NE Spain

论文链接：<https://www.mdpi.com/2225-1154/13/2/37>

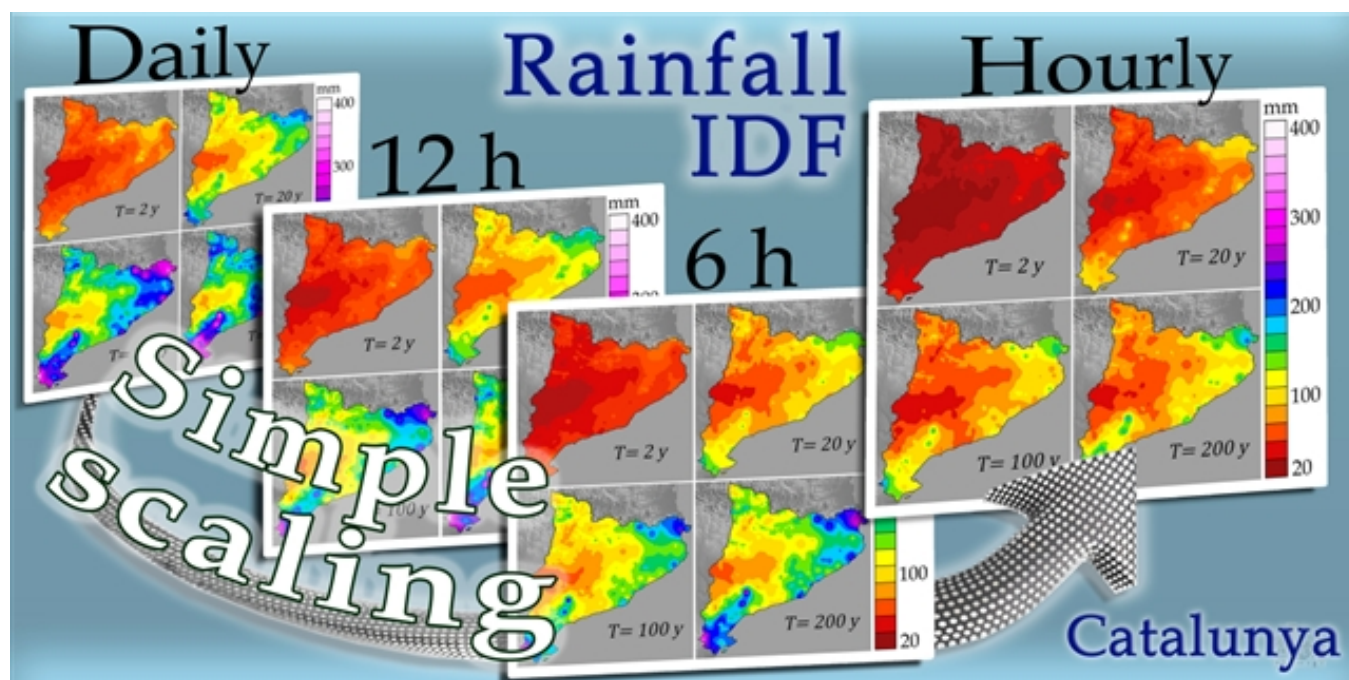
期刊名：Climate

期刊主页：<https://www.mdpi.com/journal/climate>

研究背景

降雨强度、历时与频率之间的关系不仅是气象学的核心课题，在水文学和土木工程领域同样至关重要。这三者之间的关系通常通过强度-历时-频率（intensity – duration – frequency, IDF）曲线来表征，该曲线展示了降雨强度在不同历时和重现期下的变化规律，是排水系统、大坝、雨水设施等涉水基础设施设计和管理的核心工具。准确估算IDF关系对于建设能够抵御极端降雨事件的基础设施、降低洪水和结构破坏风险具有重要意义。

全球变暖和水文循环的加剧引发了人们对极端降水模式变化的担忧。短历时极端降雨预计将比长历时事件的增幅更为显著，这加剧了山洪风险，也给基础设施系统带来了严峻挑战。地中海盆地，尤其是伊比利亚半岛，正面临一个典型的气候悖论：尽管近几十年来平均降雨量有所减少，极端降水事件却显著增加。来自Casas-Castillo教授团队在Climate期刊发表论文，利用单分形（简单标度）降尺度方法，基于日尺度降雨数据推求了加泰罗尼亚地区高空间分辨率的IDF关系，并绘制了其空间分布图谱。



图形摘要

研究过程与主要发现

研究团队从加泰罗尼亚气象局管理的雨量站网中，经过严格的质量控制和均一性检验，最终筛选出163条高质量日降雨序列，时间跨度覆盖1942年至2016年，平均长度为39.8年，站网密度约为每200平方公里一个站点。研究还纳入了西班牙国家气象局提供的周边地区部分序列，以提高空间分析的精度。为修正固定观测时间（如当地时间上午8:00）带来的24小时滑动最大值低估问题，研究采用了针对加泰罗尼亚地区季节特征计算的多乘性校正因子（春季1.161、夏季1.093、秋季1.124、冬季1.139），生成了各站点24小时、48小时、72小时乃至360小时的逐年最大降雨量序列。

在统计分布拟合方面，研究首先采用广义极值（GEV）分布对24小时逐年最大降雨序列进行拟合。当GEV分布不适用时——例如对于某些最大降雨序列，将数据拟合到GEV模型后，形状参数为正值，表明超长重现期下强度增幅极小而不符合物理实际——则选用Gumbel（GEV I型）、广义正态(GNO)、广义逻辑 (GLO)、广义帕累托 (GPA)或皮尔逊III型(PE3) 等替代分布。在163条序列中，100条（61%）由GEV分布成功拟合，其余分别采用Gumbel（44条）、GNO（7条）、GLO（5条）、GPA（4条）和PE3（3条）分布。研究计算了2、5、10、20、50、100、200和500年共8个重现期下的24小时最大降雨强度，并利用地理加权回归（以海拔为自变量）结合克里金插值，生成了 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 网格的高分辨率空间分布图。结果表明，加泰罗尼亚日最大降雨的空间格局与年均降雨量分布基本相似，最突出的特征是西部-中部地区（最干旱区域）的降雨量值较低。最高值集中在南部和东北部，南部高值中心会随重现期增加由沿海向山地移动，东北部高值则与山区强对流活动密切相关。值得注意的是，西北部虽然年降雨总量很高，但由于以持续性降雨为主、对流活动有限，日最大降雨量反而较低。

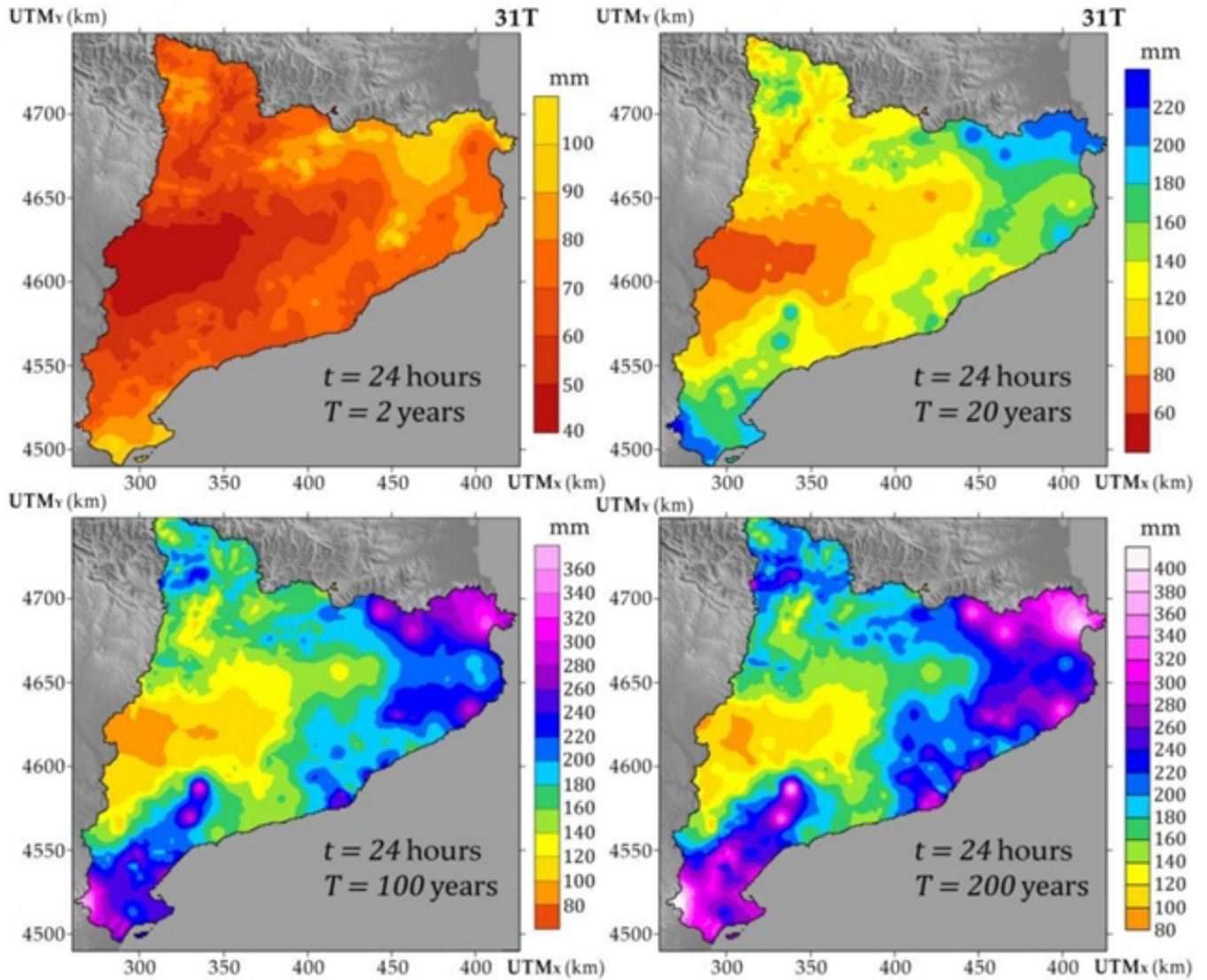


图1 24小时降雨强度的空间分布，重现期分别为2年、20年和200年

在简单尺度分析方面，降雨强度具有统计意义上的标度不变性，即不同历时降雨强度的概率分布之间可通过幂律形式的标度因子相互联系。对于单分形（简单标度），这一关系可表达为统计矩的对数与历时对数之间的线性关系，其斜率即为标度参数 β 。研究对各站点的1至15天逐年最大降雨序列计算了q阶统计矩（ $q=0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3$ ），通过线性回归验证了标度不变性并估算了各站点的 β 值。 β 的取值范围介于-1（单次孤立降雨事件）和0（降雨均匀分布）之间，实际日降雨序列的 β 通常在-0.5至-1之间。 β 值越高代表降雨越规律，越接近-1则代表降雨越集中、越不规则。研究结果显示，加泰罗尼亚地区的 β 值介于-0.89至-0.65之间，空间分布与气候分区高度吻合。西北部山区受大西洋气候影响，降雨规律、年总量高（约920mm/年）， β 值较高（平均约-0.75）；而中西部干旱区（以Lleida为代表）年降雨量仅约340mm/年，季节性明显， β 值较低（平均约-0.81）。两地的湿润日数（Vielha为125天/年，Lleida为82天/年）和简单日强度指数（SDII：Vielha为7.4mm/天，Lleida为4.1mm/天）也进一步印证了这一差异。研究通过简单克里金法将 β 值插值到1km×1km网格，为后续降尺度提供了关键参数。

在从日尺度到亚日尺度的降尺度应用方面，基于标度不变性原理，同一重现期下不同历时的降雨强度之间同样满足标度关系。因此，一旦确定了 β 值，即可利用24小时降雨强度推求亚日历时（

如12小时、6小时、1小时)的降雨强度。研究将这一方法应用于高分辨率的24小时最大降雨网格,生成了12小时、6小时和1小时历时的空间分布图。结果表明,亚日尺度地图保持了与24小时相同的空间分布格局,但具体数值随历时缩短而调整,且值域随重现期增加而扩大。

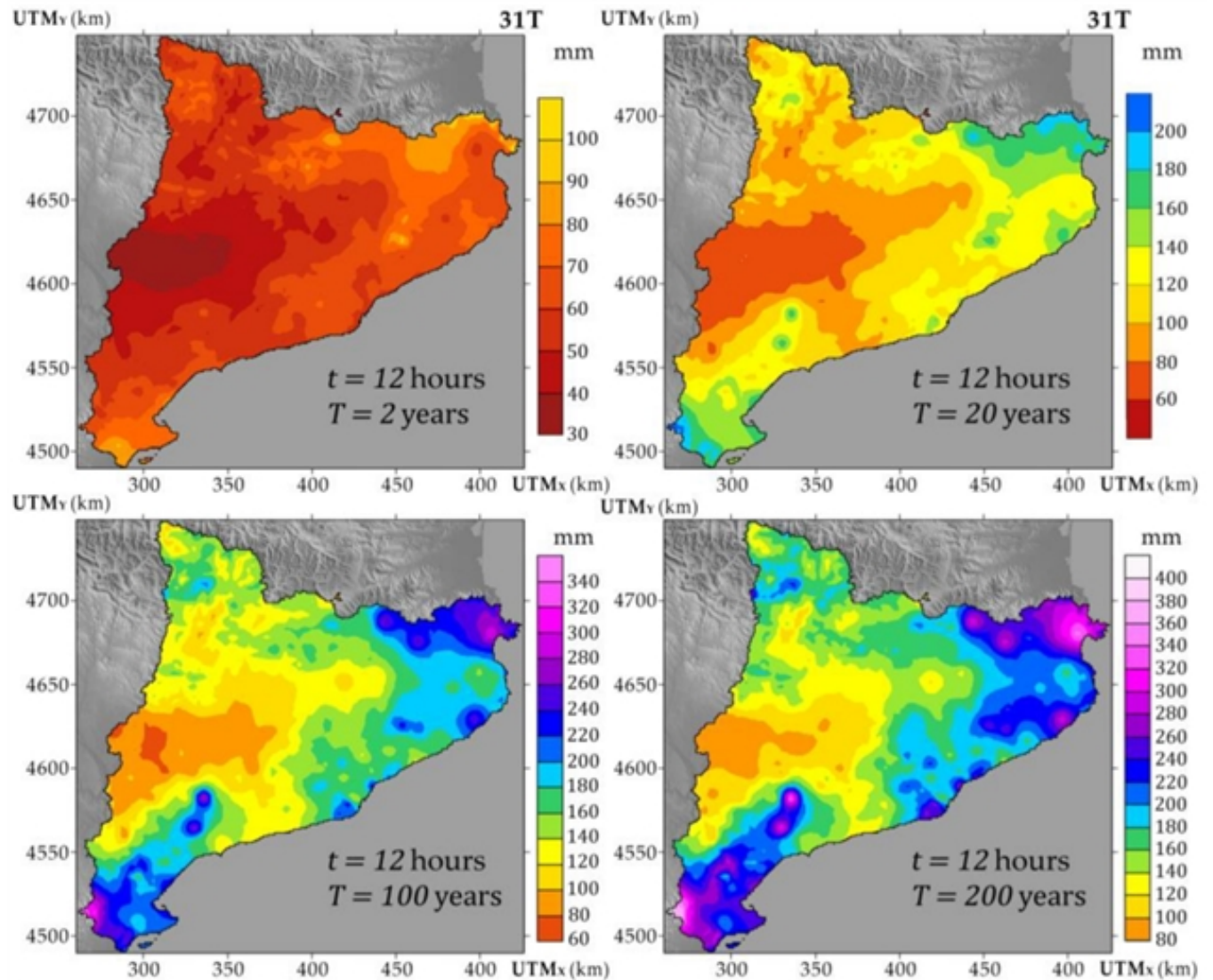


图2. 12小时内最大预期降雨量的空间分布, 重现期分别为2年、20年、100年和200年

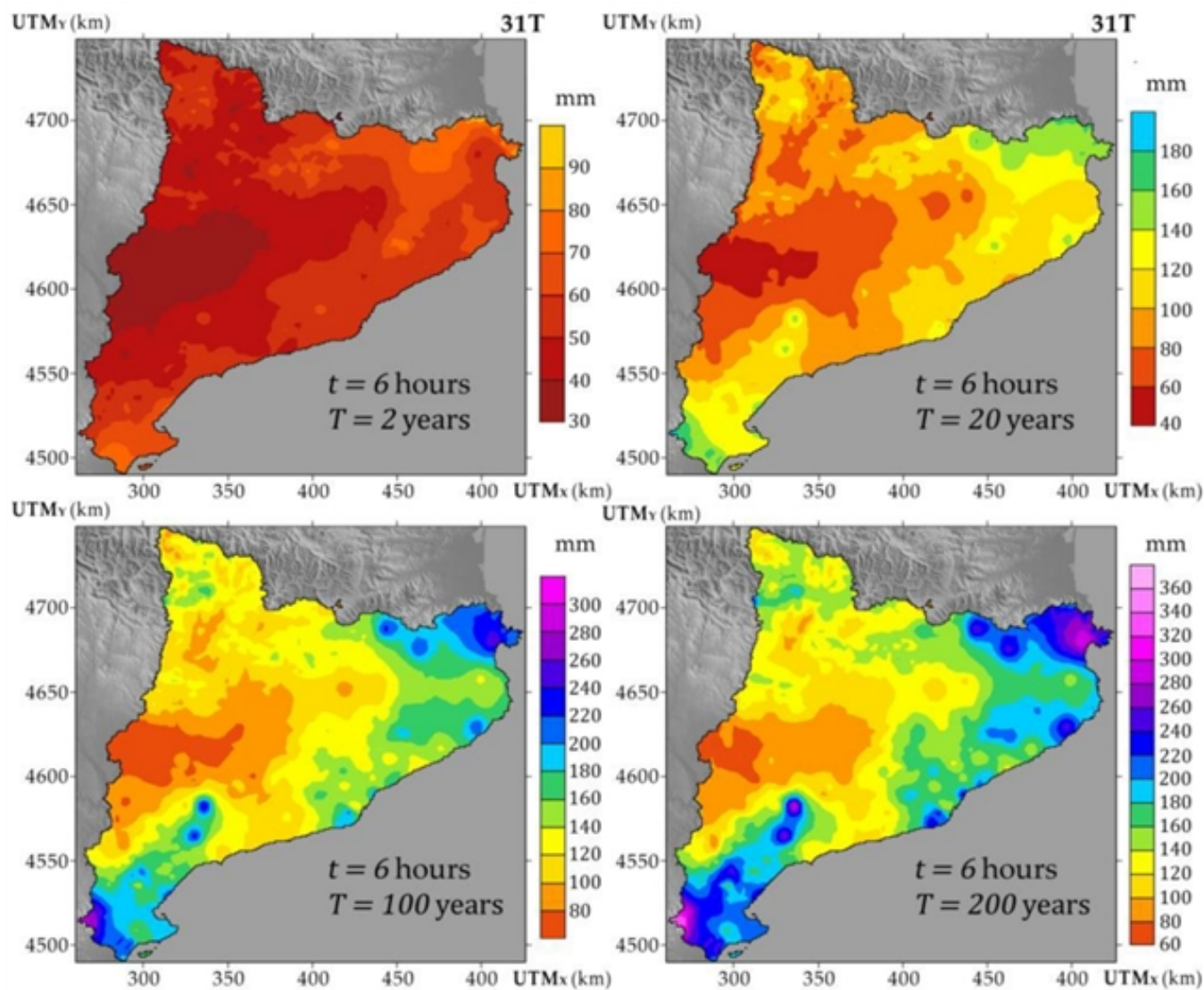


图3.6 小时内最大预期降雨量的空间分布，重现期分别为2年、20年、100年和200年

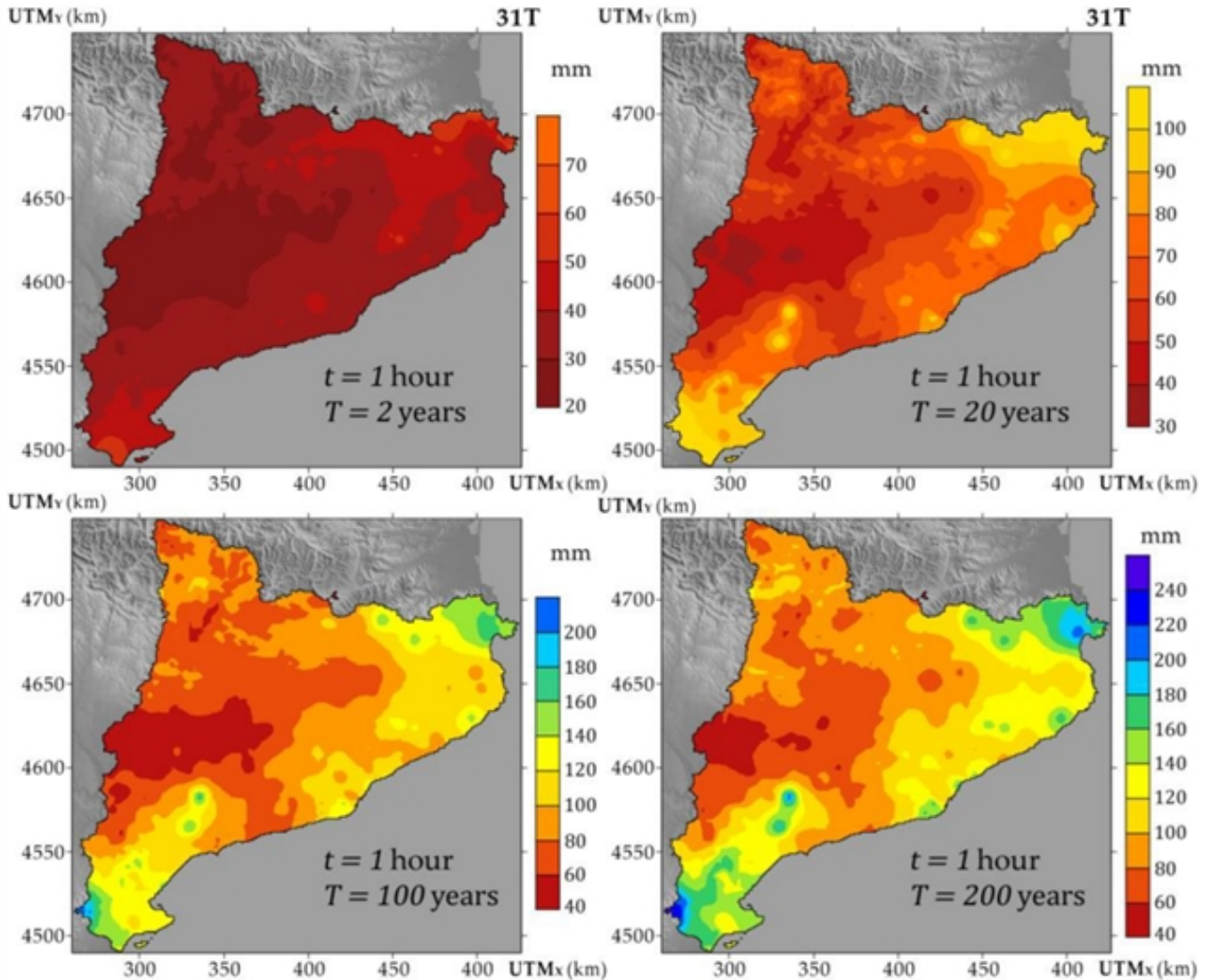


图4. 1小时内最大预期降雨量的空间分布，重现期分别为2年、20年、100年和200年

在验证与不确定性分析方面，研究通过两种方式验证了结果的可靠性。一是与已有研究（Casas, M.C., 2007）对比：90%以上区域在2年重现期下差异小于20mm/天，100年重现期下差异小于40 mm/天，且本研究因考虑了海拔加权插值，在山地峰谷间捕捉到了更精细的差异。二是利用105个均匀分布、运行超过15年的自动站小时数据验证1小时降尺度结果：对于2年重现期，超过95%的区域差异小于20mm/h。在不确定性量化方面，研究评估了两个独立误差来源：序列长度导致的日尺度误差（通过将3条75年长序列分为20组25年子序列，比较各频率下强度差异）和与降尺度过程相关的误差，主要影响亚日尺度结果（ β 误差约 ± 0.015 ）。两者合成后，500年重现期总不确定度约15%，200年重现期低于12%，更短重现期更低。

研究总结

本研究证实，单分形（简单标度）时间降尺度方法是在亚日尺度观测数据有限的情况下，从日降雨数据估算亚日降雨最大值的有效方法，为缺乏长序列亚日观测数据的地区提供了一种实用可靠的工具。研究绘制了加泰罗尼亚地区从1小时到24小时、重现期2至500年的IDF曲线空间分布图，为城市规划和防洪设计提供了关键支撑。结果表明，标度参数 β 的空间分布与气候分区高度一致

， β 值可作为降雨不规则性的有效指标，在水文学研究中具有重要价值。以每小时40mm的暴雨强度阈值（加泰罗尼亚气象局认定的强降雨代表值，常用于保险公司风险评估）为例，该阈值在中等等级的重现期（5-10年）下即可在大部分地区被超过，表明这些区域面临更频繁的洪涝风险。而24小时100mm阈值需20年以上重现期才能在80%以上区域被超过，200mm阈值则需200年以上才能在约一半区域被超过，突显了其极端性与稀有性。

Climate

<https://www.mdpi.com/journal/climate>

- Impact Factor (2025): 4.0 (JCR Q2 气象学和大气科学)
- CiteScore (2025): 6.5 (CiteScore Q1)

Climate (ISSN 2225-1154) 创刊于2013年，旨在为与气候相关的所有学科领域（涵盖所有尺度）的创新研究、综述文章、新方向论文和短文通讯提供一个开放获取的平台。该期刊鼓励投稿，涵盖气候变化检测与归因、地球系统建模、生态系统、水文和社会经济影响以及气候缓解和适应措施等各个领域。

合作协会：American Society of Adaptation Professionals (ASAP)

主题领域包括但不限于：全球、区域和城市气候及其相互作用，气候动态与变率，气候对短期极端事件的影响，化学、气溶胶、云与气候的相互作用，水文气候，空气、土地、水和植物的相互作用，水循环、能量循环和碳循环的相互作用，气候对空气/水质、生态系统、人类健康和粮食生产的影响，气候对经济和社会的影响，气候减缓和适应政策与战略，可持续性、清洁能源和污染控制，地球工程。

期刊主编：



Dr. Timothy G. F. Kittel

美国科罗拉多大学博尔德分校北极和高山研究所

投稿优势

- 更高文章曝光度

Climate期刊目前已被Scopus、ESCI (Web of Science)、GeoRef、AGRIS等多个数据库收录。

- 更快发表速度

Time to First Decision 20.5 days Time to Publication 3.7 days

- 开放获取

读者可以免费阅读期刊文章。

- 作者持有版权

来源：Climate

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发