

周源涛, 高原, 刘峰贵, 等. 灾害风险评价中天气生成器的应用研究综述 [J]. 灾害学, 2022, 37(3): 155 - 161. [ZHOU Yuantao, GAO Yuan, LIU Fenggui, et al. Application of Weather Generator in Disaster Risk Assessment [J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(3): 155 - 161. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2022.03.025.]

# 灾害风险评价中天气生成器的应用研究综述\*

周源涛<sup>1,2</sup>, 高原<sup>2</sup>, 刘峰贵<sup>1,3</sup>, 王静爱<sup>2,3</sup>

(1. 青海师范大学地理科学学院, 青海 西宁 810008; 2. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875;  
3. 高原科学与可持续发展研究院, 青海 西宁 810008)

**摘要:** 天气生成器是采用随机过程论, 并结合概率论和数理统计的方法生成气象数据的一种模型, 它可以模拟出对灾害时空模式的分析和预测中关键的高分辨率、连续的气象数据。在梳理了天气生成器的产生、发展过程与5种主流天气生成器的定义原理与使用情况的基础上, 重点关注了天气生成器在自然灾害评估中的角色地位与作用。研究表明, 主流的天气生成器多基于马尔可夫链或半经验模型, 计算转移概率并发生降水, 进而得到其他日值气象数据, 近年来多用于水文、气象、农业和灾害综合风险评估等领域。天气生成器可以结合致灾阈值, 评估致灾因子发生的强度与频率, 或结合水文农业模型对灾害进行评估; 也可以结合农作物估产模型, 评估损失与脆弱性, 或结合未来排放情景, 对全球变化背景下未来灾害情况进行预估。但各个模型也存在一定的模拟数值不准确、精度差、极值模拟差的问题。天气生成器的模拟数据是灾害评估中的一种科学的代用资料, 进一步开展对天气生成器在灾害学领域的研究, 对防灾减灾具有重要的意义。

**关键词:** 天气生成器; 灾害评估; 致灾因子; 承灾体; 损失

**中图分类号:** X43; X915.5; P423 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2022)03-0155-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2022.03.025

在全球变暖的背景下, 极端天气和气候事件的强度和频率显著增加<sup>[1]</sup>, 引发频繁的自然灾害, 造成了巨大的人员伤亡和财产损失<sup>[2]</sup>。故对自然灾害风险评价的研究也就愈益重要而迫切。对各种自然灾害事件时空模式的分析和预测, 通常需要高分辨率且连续的气象数据, 然而在许多地方, 数据的缺乏阻碍了评估工作。对气象资料不连续或缺测地区, 或对未来可能发生的自然灾害研究, 则需要科学的代用资料。天气生成器(Weather Generator, WG), 国内也常译为天气发生器, 是采用随机过程论并结合概率论的方法生成气象数据的一种模型, 可在每日或月时间步长的实测数据基础上产生高分辨率的代用气象资料, 包括降水、温度、太阳辐射和风速等。理想情况下, 模拟数据具有与观测数据<sup>[3]</sup>相同的统计特征。

尽管天气生成器最初是为土壤侵蚀模型<sup>[4]</sup>或水文气象模型<sup>[5-7]</sup>的应用而开发, 且多作为模型中的天气数据发生模块<sup>[8-9]</sup>, 但近年来, 它们已在各区域、流域或局地气候的变化、农作物估产方面和自然灾害研究领域提供了有力帮助<sup>[10-12]</sup>。本文首先梳理了5种主流天气生成器的产生发展, 进而结合天气生成器在致灾因子危险性和灾害损失评估方面的研究, 综述了目前天气生成器在灾害评

估中的应用的情况, 以期能为天气生成器更好的应用于相关研究提供思路。

## 1 天气生成器的简介

天气生成器是一种以统计学方法生成气象数据的一种数学模型, 最初它的产生主要有两个原因: 一是生成具有统计学特性的气象数据时间序列, 以符合水文评估或农业应用中要求的时间分辨率; 二是将已有气象数据时间序列的模拟扩展到未观测或者缺测的地点。现天气生成器已广泛应用于气象数据模拟、土壤与农作物模型和灾害风险评价等相关研究中, 为大量的工作提供了连续、高分辨率的气象代用数据。

### 1.1 天气生成器的产生与发展

天气生成器的产生与发展大致情况如图1所示。最早的相关研究可追溯到以色列科学家使用马尔可夫链进行的干湿日预测<sup>[13]</sup>。1972年, JONES<sup>[14]</sup>在此基础上, 生成了日降水量, 并基于气温、蒸发与降水天气的高相关性, 尝试对日平均气温和蒸发量进行模拟。1980年, BRUHN<sup>[15]</sup>增

\* 收稿日期: 2021-11-15 修回日期: 2022-03-22

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0606); 国家重点研发计划项目“全球变化及应对”重点专项(2016YFA0602402)

第一作者简介: 周源涛(1996-), 男, 汉族, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 主要从事自然地理综合研究. E-mail: zytztq@163.com

通讯作者: 王静爱(1955-), 女, 满族, 河北定州人, 教授, 博士生导师, 主要从事自然灾害风险评估和区域地理研究.

E-mail: jwang@bnu.edu.cn

加了对日最高、最低气温,相对湿度和太阳辐射的模拟。RICHARDSON 等<sup>[16]</sup>于 1984 年将这一方法系统总结,并命名为 WGEN(Weather Generator)天气生成器。1990 年,SHARPLEY 等<sup>[17]</sup>将天气生成器引入 SWAT(Soil & Water Assessment Tool)模型,并命名为 WXGEN(Weather Generator);但 WXGEN 天气生成器没有单独的交互界面,调用比较困难<sup>[18]</sup>,BAFFAULT<sup>[4]</sup>开发了具有视窗程序的天气生成器 CLIGEN(Climature Generator)。MODAWEC(Monthly to Daily Weather Converter)随后也结合 EPIC(Environmental Policy Integrated Climate)模型提出,以解决 WXGEN 不能被 EPIC 使用的问题<sup>[19]</sup>。

CLIGEN 等<sup>[5]</sup>使用低阶马尔可夫链,在模拟极端降水时往往精度不高,因此拟合效果更好的高阶马尔可夫链被尝试引用在 WeaGETS(Weather Generator)天气生成器中<sup>[20]</sup>。基于马尔可夫链的天气生成器发展的同时,半经验模型也被尝试引入。LARS - WG(Long Ashton Research Station Weather Generator)是对天气生成器基本数理方法的新探索,专为气候变化与影响的相关研究设计<sup>[21]</sup>,它基于半经验分布模型,有助于解决基于马尔可夫链的天气生成器对极端降水模拟准确度不高的问题<sup>[22-23]</sup>。目前,天气生成器种类日渐多样,多位

学者为解决自己领域的相关问题,在基于经典理论基础,开创了多种以研究问题为导向的新方法。天气生成器正在朝向多种分布模型结合、多种数理方法探索、多用于针对性研究问题解决的方向发展。

### 1.2 典型天气生成器的定义与原理

经历 60 多年的发展,天气生成器现已广泛应用于河流水文学<sup>[24-26]</sup>、气候变化<sup>[27-29]</sup>、农业估产<sup>[30-32]</sup>和灾害风险评估<sup>[55-57]</sup>等领域。本文选取五种常用的天气生成器(表 1),重点介绍它们的定义与原理。

天气生成器中,较早的 WXGEN(1990)和 CLIGEN(1995)都内建于其他模型中。WXGEN 内建于 SWAT 模型,用于补白缺测地区的数据以全面分析流域土壤侵蚀情况<sup>[33]</sup>;CLIGEN 是为 WEPP(Water Erosion Prediction Project)模型而开发的随机天气生成器<sup>[4]</sup>;LARS - WG 参考气象站实测的干湿交替序列的长度,进而根据半经验模型生成降水量和其他气象数据<sup>[34]</sup>;MODAWEC(Monthly to Daily Weather Converter)为 WXGEN 在 EPIC 模型中的改进<sup>[19]</sup>;WeaGETS(Weather Generators)天气生成器产生较晚,模型中综合了多种数学模型和分布可供选择,以达到产生更精确的降水量的目的<sup>[35]</sup>。

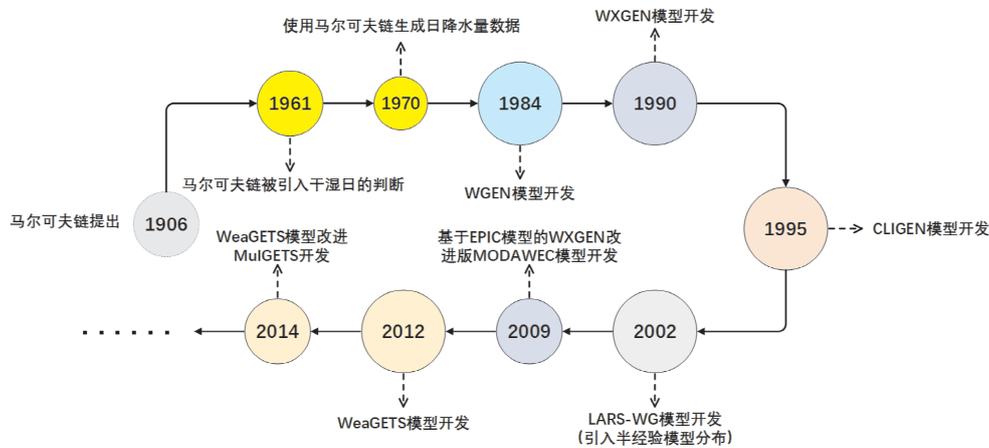


图 1 天气生成器的发展时间轴

表 1 五种主流天气生成器的对比

	Climate Generator (CLIGEN)	Long Ashton Research Station Weather Generator(LARS - WG)	Weather Generators (WeaGETS)	Weather Generator (WXGEN)	Monthly to Daily Weather Converter (MODAWC)
输入时间要求	每月	每月	每两周	每月	每月
降水概率模型	一阶二状态马尔可夫模型	半经验分布	一、二、三阶马尔可夫链模型	一阶二状态马尔可夫模型	一阶二状态马尔可夫模型
降水量分布模型	偏态分布	拟合干湿交替序列	指数分布, GAMMA 分布, 偏态分布, 混合指数分布	指数分布和偏态分布	指数分布
其他气象要素生成模型	正态分布(基于干湿日)	正态分布、三次谐波傅里叶级数	正态分布、两次谐波傅里叶级数	弱平衡过程模型(基于干湿日)	多元正态分布(基于干湿日)
模型的特点	用概率分布计算降水量,使用傅里叶级数插补/分解	采用半经验分布对降雨进行预测	用高阶马尔可夫链模型来生成降水发生,用四种分布模拟降水量。	有两种方法计算降水量:偏态分布或指数分布	基于 EPIC 模型,是 WXGEN 模型改进

### 1.3 天气生成器的应用领域

本文选择 56 篇代表文献, 构建了“研究区—类型—研究领域”的多维图(图 2), 以展示天气生成器的应用情况。包括了 2 大类文献, 5 种天气生成器, 8 个研究区和 4 个研究领域。由图 2 可知, 天气生成器研究的热点区集中在东亚、南亚和北美, 领域涉及气象气候的应用, 如在气候变化情景下对气温降水的模拟和变化评价<sup>[36]</sup>, 气象数据降尺度<sup>[37-38]</sup>, 补白缺测数据<sup>[39]</sup>; 农业的应用, 如粮食产量的预估<sup>[40]</sup>或生产潜力的评价<sup>[12]</sup>; 水文的应用, 如气候变化对径流量的影响<sup>[41]</sup>; 以及灾害学的研究, 如暴雨、干旱等气象致灾因子导致的农作物产量损失风险评估<sup>[42]</sup>, 或者未来气候变化情景下农作物的估产研究等<sup>[43]</sup>。

可以看到: ①天气生成器类型增多, 应用日益广泛。1975—1995 年是天气生成器的产生阶段, 研究集中于对降水概率模型的探讨, 并形成了 WXGEN 和 CLIGEN, 但应用较少。1995 年以来, 特别是在 2005 年以后, 天气生成器的相关研究与使用进入高潮, 新的模型被开发并广泛运用, 旧模型使用减少甚至被淘汰。②应用区域渐向全球扩张。天气生成器多数起源于北美, 1975—2005 年间的模型测试和运用基本在美国进行。后多国学者, 特别是我国学者积极引入模型, 并做了适用性评价, 研究重点区域逐渐向农业发达的东亚和南亚转移。③应用呈现多样化、多学科交叉的趋势。天气生成器诞生之初仅作为模型当中的功能模块, 产生模型所需的气象数据, 后逐渐发展

出现结合未来气候变化情景的农作物估产研究。至今, 天气生成器在气候变化预估, 大流域多站点河流流量的模拟和气候变化情景下农作物灾损评估和估产等领域都有广泛的应用。从一开始多用于农业<sup>[44]</sup>气象气候<sup>[45]</sup>领域发展至水文气象的结合<sup>[46]</sup>或水文、气象、农业与灾害的多领域结合研究<sup>[47-48]</sup>, 天气生成器的研究的面更宽, 研究问题更深入, 应用范围更广。

## 2 天气生成器在灾害评估中的应用

灾害评估是研究灾害学的重要内容和步骤, 一般可概括为灾害风险评估、损失评估等<sup>[72]</sup>。灾害风险评估主要包括对致灾因子的危险性和承灾体脆弱性的评估<sup>[49]</sup>, 涉及的气候致灾因子主要包括干旱、暴雨等, 承灾体主要包括人口、经济、基础设施和农作物等。灾害损失评估一般是指建立适当的评估模型, 对灾害的破坏程度和造成的各种损失进行评估<sup>[72]</sup>。在未来全球变化面对诸多不确定性和人类生存环境面临自然灾害巨大威胁的情况下, 高分辨率的连续气象数据在研究中尤为关键, 天气生成器由于可产生连续的高分辨率代用数据, 因此可用于解决灾害评估环节中的数据问题。天气生成器在灾害评估中的应用流程如图 3 所示, 它的直接使用, 或结合其他模型与未来气候情景的综合研究, 对准确评价自然灾害风险具有巨大的意义。

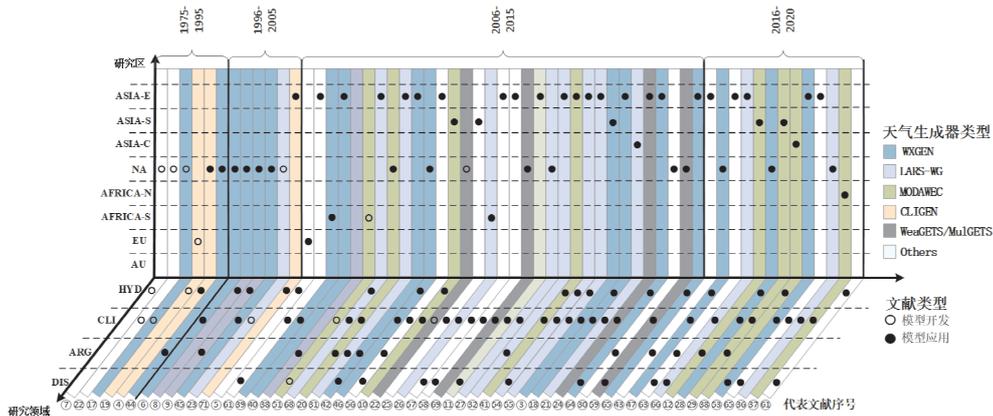


图 2 天气生成器应用情况三维图  
注: ASIA - E 东亚; ASIA - S 南亚; ASIA - C 中亚; NA 北美; AFRICA - N 撒哈拉以北的非洲; AFRICA - S 撒哈拉以南的非洲; EU 欧洲; AU 澳洲; CLI 气象气候学; HYD 水文学; AGR 农学; DIS 灾害学

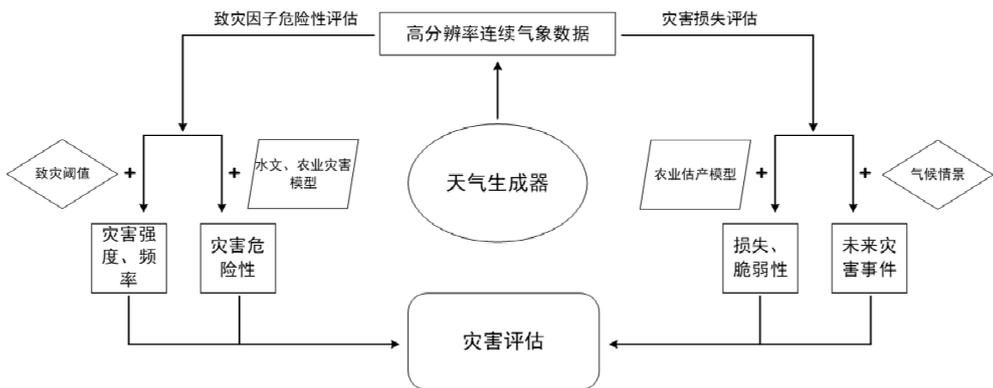


图 3 天气生成器在灾害评估中的应用流程

## 2.1 致灾因子危险性评估

致灾因子危险性是对致灾因子的强度及其发生的可能性的刻画<sup>[50]</sup>。对于致灾因子危险性的评估是天气生成器的主要应用之一，其功能是生成所需的时长、分辨率的气象数据后，对干旱、暴雨等气象灾害事件可能发生的强度或概率进行的评估。

干旱方面应用，一般是通过模拟降水量的多寡和有效降水日数来体现的。比如，LIU<sup>[51]</sup>等使用MODAWEC天气生成器，根据月数据补白撒哈拉以南的非洲的缺测气象数据，重点关注了干旱可能发生的概率与对农作物的致灾情况；肖涵<sup>[52]</sup>结合全球气候模式未来时期气象数据，运用SDSM模型，将新安江流域的低分辨率气象数据进行降尺度，模拟了新安江流域未来降水和蒸发的变化情况，预测了流域内可能发生干旱的强度；石小平<sup>[53]</sup>对比了天气生成器中常用的四种降水概率分布模型，结合中国不同地区实际气候情况，提出了中国不同气候区适用的最优模型，并对模拟不同地区的干旱概率与强度进行了研究。天气生成器所评价的干旱多数指的是气象干旱，但也有研究和干旱模型结合，从而作为气象代用资料生产模型，对农业干旱进行科学的评估和预测。

天气生成器可以借助马尔可夫链较好的预测降水发生情况与降水量，因此在暴雨作为致灾因子的暴雨洪水灾害评估上也有很广泛的应用。暴雨洪水方面，张徐杰<sup>[11]</sup>等根据HadCM3大气环流模式，使用LARS-WG天气生成器，对21世纪中叶钱塘江流域的暴雨造成的洪水情况进行了模拟、计算与分析；李志<sup>[54]</sup>等使用CLIGEN天气生成器，将3种GCMs月模式数据降尺度到逐日，预测了2010—2039年黄土塬区暴雨发生的情况；田焯<sup>[55]</sup>引入IPCC第四次报告中的气候情景，使用LARS-WG天气生成器，预测了浙江省未来梅雨季、台风季降水量以及此期间洪水发生的可能性与情况。天气生成器可产生具体的日降水量和降水日数，因此可以直接用于对暴雨事件的评估，但在洪水方面，一般会被集合到水文模型中，从而达成对洪水事件的评估与预测。

基于气温和降水事件的强相关性，天气生成器也可根据不同的模型，产生温度数据，进而对极端气温事件发生情况进行评估。在极端温度方面，强慧婷<sup>[56]</sup>使用BCC/RCG-WG，模拟了江苏省未来50年的逐日气温情况，预测了未来气候变化下高温热害可能造成水稻的减产状况；郎许峰<sup>[57]</sup>使用BCC/RCG-WG，将气象资料降尺度到逐日，预测了未来全国超过35℃与38℃的高温事件的分布，制作了全国范围内高温天数的分布图；高淑新<sup>[58]</sup>等使用CLIGEN，模拟了东北三省15个气象站点的逐日平均最高温度、最低温度，评估了极端温度的日数且尝试在空间上进行插值，对其在东北三省进行了适用性评价。天气生成器可以直接模拟逐日乃至更高分辨率的温度数据，对于极端温度的评估，一般需要根据不同的承灾体厘定致灾极端温度的阈值，再进行评价。

天气生成器在致灾因子危险性方面的评估也不仅仅是对单个致灾因子的模拟，也有学者同时

模拟多个致灾因子，分析了一个地区多个独立气象要素的致灾情况，以期对致灾因子危险性进行更全面的评估。BREINL<sup>[59]</sup>等使用MulGETS对美国西部日降水和气温进行模拟，评价了天气生成器对历史时期极端气温、降水事件的还原情况，并预测了这里未来可能发生的各种水文与气象灾害。KIM<sup>[42]</sup>等使用WXGEN天气生成器，结合气候变化情景，模拟了汉江流域2001—2090年的逐日气温降水数据，预测了未来汉江流域可能发生的高温以及暴雨事件，进而对干旱和洪涝灾害等进行评估。

利用天气生成器，可以在致灾因子危险性评估领域模拟连续的、高分辨率的气象数据，进而用于对多种不同的致灾因子导致的灾害事件的模拟，又可以直接模拟致灾因子的强度和发生频率，结合致灾标准对灾害事件进行评估，也可以作为水文或农业干旱模型的内置天气数据来源，为模型评估致灾因子的危险性提供数据基础。但由于模型多产生于北美，参数经过本地化修正，模型的使用具有区域性，对致灾因子特别是极端气象事件的还原程度具有一定的局限性，所以在区域上进一步推广受到限制，因此在不同地区使用前一般需要进行适用性评价。

## 2.2 灾害损失评估

天气生成器在灾害损失评估方面的应用，主要是对承灾体遭受气象致灾因子打击时的损失评价。此时天气生成器在致灾-损失评价环节中主要功能是生成高分辨率气象数据，结合承灾体的致灾阈值，从而对承灾体在某种灾害事件下产生的损失进行评价。如根据气候变化模式数据，使用天气生成器模拟出未来时期的高分辨率气象数据，结合农业模型，预估不同排放情景下的产量与损失，从而对风险进行进一步分析与评价；亦或模拟灾害事件并预测其对经济的打击，从而评估灾害损失。

基于不同的承灾体展开的灾害损失评估，最常运用于对农作物在某种情景下的风险损失评估。廖要明<sup>[60]</sup>等利用天气生成器NCC/RCG-WG，模拟了研究区200年的逐日降水数据，并使用气候统计学的方法，对棉花和小麦生长期内的年内各月风险进行了分析研究；STEINSCHNEIDER<sup>[61]</sup>等基于全球尺度气候特征的区域大气流动模式和天气生成器，模拟了美国西部逐日的天气情况，并建立了基于气候变化假设的水系统影响评价模型，进而对美国西部水系统的气候脆弱性进行了评估；滕雅琦<sup>[62]</sup>等使用WGEN生成水稻生育期内逐日气象数据，结合气象致灾因子评价了致灾因子危险性后，使用广义线性模型评估水稻的脆弱性，进而评估了黑龙江农垦区水稻的种植风险；并基于此制作出黑龙江全省水稻种植风险区划<sup>[63]</sup>。农作物作为承灾体时，天气生成器一般作为中间工具，进而对损失进行评估，既可以补白缺测数据，对观测缺失地区农作物遭受灾害打击后的损失与风险进行评估，也可以根据气候变化情景生产不同排放浓度下的模式数据，作为输入导入估产模型中，产出未来不同情景下农作物的产量，对未来可能的灾害损失与风险进行评价与预测。

也有学者选择经济作为承灾体，从灾害事件

可能造成的经济损失出发,进行城市灾害风险评估。张小莹<sup>[64]</sup>使用 WXGEN 天气生成器,生成了我国 672 个气象站点的逐日模拟数据,并结合 Pearson-III 型模型计算日最大降水的重现期,进而对我国各大城市及其经济发展在极端降水发生时的脆弱性进行了评价;潘润泽<sup>[65]</sup>使用 NCC/GU-WG 天气生成器对庄河地区 100 年天气数据进行补充与预测,结合水文模型对研究区内城市雨水系统排水能力进行模拟,评估了城市内涝可能造成的经济损失和风险;郭树银<sup>[66]</sup>使用 LARS-WG 天气生成器,生成未来北京的气温序列,建立能源需求量与温度、GDP 间的关系,对北京未来的能源风险进行预测。天气生成器在对于灾害对经济的打击与风险的评估中,一般是作为灾害事件的模拟器,对最终的打击损失或灾害风险的评估,还需结合其他方法。

天气生成器生成的高分辨率数据,既可以被广泛应用于农作物估产模型,产生研究要求的气象参数,作为损失评估和脆弱性构建的基础,又能被应用于对未来高精度气候数据的预测,作为气候变化情景下的灾害事件模拟器。故天气生成器成为了当今灾害研究的热点,与不同的模型结合后,天气生成器将在对致灾因子危险性、承灾体脆弱性评估和灾害损失评估方面,发挥重要的作用。

### 3 天气生成器应用的问题

一些学者指出:低阶马尔可夫链在生成自相关结构和统计尺度的日降水量时往往效果不佳<sup>[19]</sup>,可能会产生并不切实际的日降水量<sup>[67]</sup>,同时也存在产生的月降水量和温度普遍低于观测数据<sup>[68]</sup>的问题,因此在使用低阶马尔可夫链的天气生成器精确地模拟日降水量数据,并预测这种降水量的影响(如洪涝灾害)时,应当谨慎。同时,天气生成器也会低估月度和年际的天气变化,一些较新的研究正在尝试使用频谱校正的方法来校正对这种低估的情况<sup>[69]</sup>。

基于半经验模型的天气生成器比如 LARS-WG 最初的开发意图是为了克服其他天气生成器在生成降水时使用的马尔可夫链的局限性<sup>[22]</sup>。经验证,模型产生的天气数据与观测值相比有较强的信度,特别是对极端气温降水的还原明显优于其他模型<sup>[23]</sup>,但对于实测日最高气温呈现偏态分布的站点,模拟效果却不佳<sup>[70]</sup>。所以本模型在模拟日最高气温时需要考虑站点的实际情况。据研究,高阶马尔可夫链(二阶和三阶)对极端降水事件的模拟会更好<sup>[24]</sup>,因此在灾害风险评估中使用基于高阶马尔可夫链的天气生成器会更合理。

天气生成器因开发的地区不同,参数的选择和调整也具有一定的地域特色,适宜区的不同也成为模型使用的一大问题,因此对于天气生成器的适用性评价也是热点研究方向之一。如在我国黄河流域的适应性评价中,张光辉<sup>[71]</sup>等人认为:CLIGEN 模型模拟结果的标准差基本上趋于偏低。同时作者也指出,天气资料因为具有一定的统计特征相似性,可以选择参证站对生成数据进行验

证,以期产生较为理想的未来随机天气序列。

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

(1)天气生成器是使用马尔可夫链或半经验分布等模型生成降水事件发生的序列,再据此生成日所需气象数据的模型,可以用于气象数据降尺度与补白研究。作为直接、有效、低成本的模型,历经 60 年发展,已经广泛使用在气象资料的构建,流域河流径流量的模拟和灾害评估等领域。随着农业估产、土壤侵蚀、灾害评价研究的发展和全球尺度气候研究的兴盛,越来越多的研究中使用到天气生成器,天气生成器有向着独立化,集成化,智能化,与主流数学软件计算机语言结合而深入发展的趋势。

(2)天气生成器的发展研究,是一个基于单一统计学模型而不断地向多模型、多方法发展的过程。基于低阶马尔可夫链的天气生成器出现最早,数理模型最简单,应用也为最广泛。半经验模型是对天气生成器底层机理的创新,针对解决了马尔可夫链存在的问题。综合多种降水量分布模型的高阶马尔可夫链是天气生成器的前沿。

(3)天气生成器在灾害评估领域的研究,首先可以用于对致灾因子危险性方面的评价,模拟致灾因子的强度和发生频率,结合致灾的标准对灾害事件进行评估;也可以作为水文或农业干旱模型的内置天气数据来源,为模型评估致灾因子的危险性提供数据基础。其次,天气生成器可以运用于灾害损失评估,包括基于生成的高分辨率气象数据,产生中间参数,应用于农作物估产模型,作为损失评估和脆弱性构建的基础;又可应用于对未来高精度气候数据的预测,作为气候变化情景下的灾害事件模拟器。

### 4.2 灾害风险评估中天气生成器的应用展望

目前,天气生成器在灾害评估中的使用已经积累了不少的经验,也有很多学者因地制宜尝试对天气生成器进行本土化,但研究中仍存在一些不足。比如单纯使用马尔可夫链的模型往往不能产生符合实际的降水序列,结合实际降水的半经验模型在极端值的模拟上又显得不完美,这些缺点在灾害风险评估中往往是致命的。建议在天气生成器的使用过程中,应考虑针对不同的研究需求选择不同类型的天气生成器。针对灾害风险评估的发展,天气生成器也迫切的需要从两个方面进行改进。首先是对于高阶马尔可夫链的进一步使用、验证与探索,改进模型以产生更准确的极端气象数据。气象数据缺测区比如青藏高原、非洲等渐渐成为灾害评价关注的焦点,使用天气生成器补白数据的特点将会使天气生成器在灾害风险评估中发挥更大的作用;其次,天气生成器未来的发展也可以考虑结合区域气候的相似性构建自己的数据库,计算每一种气候的统计学特征,更准确的还原缺测数据;同时也可以结合多种气候情景构建未来不同地区的气象数据序列,发生高分辨率的数据。天气生成器也可以结合大数据深度学习的思想,基于不同区域的实测数据训练模型,调整经验公式与关键系数,以生成更符合

这一地区的气象数据。在此基础上,天气生成器产生的高分辨率数据就可以作为桥梁,更好的为全球不同地区的灾害风险评估服务。

致谢:本文写作的过程中,得到了北京师范大学江耀、青海师范大学马伟东、贾伟、苏鹏等人的帮助,在此一并表示感谢!

## 参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2021; summary for policymakers[M/OL]. (2021) [2021-08-09]. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf).
- [2] World Bank. Hazards of Nature, Risk to Development; An IEG Evaluation of World Bank Assistant for Nature Disaster[R]. Washington DC: World Bank, 2006.
- [3] BHUVANDAS N, TIMBADIYA P V, PATEL P L, et al. Review of downscaling methods in climate change and their role in hydrological studies[J]. Int. J. Environ. Ecol. Geol. Mar. Eng., 2014, 8: 713-718.
- [4] BAFFAUT C, NEARING M A, NICKS A D. Impact of CLIGEN parameters on WEPP - predicted average annual soil loss[J]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(2): 447-457.
- [5] KOUTSOYIANNIS D. An entropic - stochastic representation of rainfall intermittency; The origin of clustering and persistence[J]. Water Resources Research, 2006, 42(1): W01401
- [6] SEMENOV M A, BARROW E M. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios[J]. Climatic Change, 1997, 35: 397-414.
- [7] TODOROVIC P, WOOLHISER D A. A stochastic model of n - day precipitation[J]. Journal of Applied Meteorology, 1975, 14(1): 17-24.
- [8] ARNOLD J G, SRINIVASAN R, MUTTIAH R S, et al. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1[J]. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 1998, 34(1): 73-89.
- [9] WILLIAMS J R, JONES C A, KINIRY J R, et al. The EPIC Crop Growth Model[J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(2): 497-511.
- [10] KHOI D N, SUETSUGI T. Uncertainty in climate change impacts on streamflow in Be River catchment, Vietnam[J]. Water and Environment Journal, 2012, 26(4): 530-539.
- [11] 张徐杰, 林盛吉, 马冲, 等. HadCM3 模式下钱塘江流域设计暴雨估算[J]. 水文, 2013, 33(1): 21-26.
- [12] 王小博, 王绍强, 陈敬华, 等. 中国超级杂交稻在孟印缅地区的生产潜力模拟[J]. 地理学报, 2018, 73(11): 2184-2197.
- [13] GABRIEL K R, NEUMANN J. A Markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1962, 88. 375(10): 90-95.
- [14] JONES. Assessing future changes in extreme precipitation over Britain using regional climate model integrations[J]. International Journal of Climatology, 1972, 21(11): 1337-1356
- [15] BRUHN J A, FRY W E, FICK G W. Simulation of daily weather data using theoretical probability distributions[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 1980, 19(9): 1029-1036.
- [16] RICHARDSON C W, WRIGHT D A. WGEN(Weather Generator) [C]//A Model for Generating Daily Weather Variables, 1984.
- [17] WILLIAMS J R. The erosion - productivity impact calculator(EPIC) model: A case history[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 1990, 329(1255): 421-428.
- [18] 胡云华, 贺秀斌, 唐强. WXGEN 天气发生器在长江上游地区的适用性评价[J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 284-289.
- [19] LIU J, WILLIAMS J R, WANG X, et al. Using MODAWEC to generate daily weather data for the EPIC model[J]. Environmental Modelling & Software, 2009, 24(5): 655-664.
- [20] CHEN J, BRISSETTE F P, LECONTE R, et al. A versatile weather generator for daily precipitation and temperature[J]. Transactions of the ASABE, 2012, 55(3): 895-906.
- [21] OSMAN Y, AL - ANSARI N, ABDELLATIF M, et al. Expected future precipitation in central Iraq using LARS - WG stochastic weather generator[J]. Engineering, 2014, 6(13): 948-959.
- [22] RICHARDSON C W. Weather simulation for crop management models[J]. Transactions of the ASAE, 1985, 28(5): 1602-1606.
- [23] SEMENOV M A, BARROW E M. LARS - WG; a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User manual 3.0 [R/OL]. (2002-08) [2021-11-11]. <http://resources.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/groups/mas-models/download/LARS-WG-Manual.pdf>.
- [24] 陈杰, 赵姘, Fran? ois P. 水与空间信息科学随机天气生成器: 从单站点到多站点模型[C]//第十二届中国水论坛论文集. 北京: 中国水利水电出版社, 2014: 14.
- [25] KHOI D N, SUETSUGI T. The responses of hydrological processes and sediment yield to land - use and climate change in the Be River Catchment, Vietnam[J]. Hydrological Processes, 2014, 28(3): 640-652.
- [26] CHEN H, GUO J, ZHANG Z, et al. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS - WG in future[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2013, 113(3): 363-375.
- [27] CHUN K P, WHEATER H S, NAZEMI A, et al. Precipitation downscaling in Canadian Prairie Provinces using the LARS - WG and GLM approaches[J]. Canadian Water Resources Journal, 2013, 38(4): 311-332.
- [28] LEE S, WALLACE C W, SADEGHI A M, et al. Impacts of global circulation model(GCM) bias and WXGEN on modeling hydrologic variables[J]. Water, 2018, 10(6): 764.
- [29] WANG X, WANG S, CHEN J, et al. Simulating potential yields of Chinese super hybrid rice in Bangladesh, India and Myanmar with EPIC model[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(7): 1020-1036.
- [30] JEONG J, WILLIAMS J R, ROSSI C G, et al. Development of the spatial rainfall generator(SRGEN) for the agricultural policy/environmental extender model[J]. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 2015, 51(1): 154-167.
- [31] HONG E M, CHOI J Y, LEE S H, et al. Estimation of paddy rice evapotranspiration considering climate change using LARS - WG[J]. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 2009, 51(3): 25-35.
- [32] NKOMOZEPI T D, CHUNG S O. Uncertainty of Simulated Paddy Rice Yield using LARS - WG Derived Climate Data in the Geumho River Basin, Korea[J]. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 2013, 55(4): 55-63.
- [33] NEITSCH S L, ARNOLD J G, KINIRY J R, et al. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009[R]. Texas Water Resources Institute, 2011.
- [34] RACSKO P, SZEIDL L, SEMENOV M. A serial approach to local stochastic weather models[J]. Ecological modelling, 1991, 57(1/2): 27-41.
- [35] CHEN J, BRISSETTE F P, LECONTE R. WeaGETS - a Matlab - based daily scale weather generator for generating precipitation and temperature[J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 13: 2222-2235.
- [36] ZUBAIDI S L, KOT P, HASHIM K, et al. Using LARS - WG model for prediction of temperature in Columbia City, USA [C]// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019, 584.
- [37] MAHMOOD R, JIA S. Observed and simulated hydro - climatic data for the lake Chad basin, Africa[J]. Data in brief, 2019, 25: 104043
- [38] AZMAT M, QQMAR M U, AHMED S, et al. Ensembling downscaling techniques and multiple GCMs to improve climate change predictions in cryosphere scarcely - gauged catchment[J]. Water Resources Management, 2018, 32(9): 3155-3174.
- [39] SCHUOL J, ABBASPOUR K C. Using monthly weather statistics to generate daily data in a SWAT model application to West Africa[J]. Ecological modelling, 2007, 201(3-4): 301-311.
- [40] 朱大威, 金之庆. 气候及其变率变化对东北地区粮食生产的影响[J]. 作物学报, 2008(9): 1588-1597.
- [41] JUNG I W, BAE D H, LEE B J. Possible change in Korean streamflow seasonality based on multi - model climate projections[J]. Hydrological Processes, 2013, 27(7): 1033-1045.
- [42] KIM B S, KIM B K, KWON H H. Assessment of the impact of climate change on the flow regime of the Han River basin using indicators of hydrologic alteration[J]. Hydrological Processes, 2011, 25(5): 691-704.
- [43] 张延, 任小川, 赵英, 等. 未来气候变化对关中地区冬小麦耗水和产量的影响模拟[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(1): 220-228.
- [44] WALLIS T W R, GRIFFITHS J F. An assessment of the weather

- generator(WXGEN) used in the erosion/productivity impact calculator(EPIC)[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1995, 73(1-2): 115-133.
- [45] HAYHOE H N. Relationship between weather variables in observed and WXGEN generated data series[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1998, 90(3): 203-214.
- [46] ZHANG H, HUANG G H, WANG D, et al. Uncertainty assessment of climate change impacts on the hydrology of small prairie wetlands[J]. *Journal of hydrology*, 2011, 396(1-2): 94-103.
- [47] DA Cunha L K, CURTIS D C, HIGH J. Developing a Risk - Based Framework for Drought Contingency [C]//World Environmental and Water Resources Congress, 2017: 484-498.
- [48] BOPP G P, SHABY B A, FOREST C E, et al. Projecting flood - inducing precipitation with a Bayesian analogue model[J]. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 2020, 25(2): 229-249.
- [49] 史培军. 灾害风险科学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2016.
- [50] 史培军, 王静爱, 方修琦, 等. 综合风险防范——长江三角洲地区综合自然灾害风险评估与制图[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [51] LIU J, FRITZ S, VANWESENBEECK C F A, et al. A spatially explicit assessment of current and future hotspots of hunger in Sub - Saharan Africa in the context of global change[J]. *Global and Planetary Change*, 2008, 64(3-4): 222-235.
- [52] 肖涵. 干旱致灾临界状态辨识及汉江上游未来气候情景下干旱预测研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- [53] 石小平. 中国降水的随机模拟[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [54] 李志, 刘文兆, 张勋昌, 等. 解集 GCMs 输出评估黄土塬区农田侵蚀的潜在变化[J]. *生态学报*, 2010, 30(19): 5306-5315.
- [55] 田焯. 气候变化对极端径流影响评估中的不确定性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [56] 强慧婷. 江苏省高温热害及其对水稻生产的影响研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [57] 郎许锋. 高温热浪预测预警系统研究与实现[D]. 南昌: 东华理工大学, 2012.
- [58] 高淑新, 宋晓巍, 李琳琳, 等. CLIGEN 天气发生器在中国东北三省模拟温度的适用性评价[J]. *气象与环境学报*, 2019, 35(4): 77-84.
- [59] BREINL K, TURKINGTON T, STOWASSER M. Simulating daily precipitation and temperature: a weather generation framework for assessing hydrometeorological hazards[J]. *Meteorological Applications*, 2015, 22(3): 334-347.
- [60] 廖要明, 潘学标, 张强, 等. 逐日降水量的模拟及其在作物气候风险分析中的应用[J]. *华北农学报*, 2006(S2): 206-212.
- [61] STEINSCHEIDER S, RAY P, RAHAT S H, et al. A weather - regime - based stochastic weather generator for climate vulnerability assessments of water systems in the western United States[J]. *Water Resources Research*, 2019, 55(8): 6923-6945.
- [62] 滕雅琦, 马维军. 基于广义线性模型的水稻种植风险评估[J]. *数学的实践与认识*, 2019, 49(2)1-17.
- [63] 滕雅琦. 黑龙江省农作物种植风险评估及区划[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2017.
- [64] 张小莹. 我国极端降水时空特征及风险分析[D]. 上海: 上海师范大学, 2014.
- [65] 潘润泽. 未来降水情景下城市雨水系统的适应力分析与对策研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2018.
- [66] 郭树银. 气候变化条件下的北京市能源规划模型研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2017.
- [67] BAE D H, JUNG I W, CHANG H. Long - term trend of precipitation and runoff in Korean river basins[J]. *Hydrological Processes: An International Journal*, 2008, 22(14): 2644-2656.
- [68] HU Y, WANG L, SUN X, et al. An Assessment of CLIGEN and WXGEN Weather Generators Used in the Upper Reaches of the Yangtze River[J]. 2015.
- [69] CHEN J, BRISSETTE F P. Combining stochastic weather generation and ensemble weather forecasts for short - term streamflow prediction[J]. *Water Resources Management*, 2015, 29(9): 3329-3342.
- [70] SEMENOV M A. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator[J]. *Climate Research*, 2008, 35(3): 203-212.
- [71] 张光辉. CLIGEN 天气发生器在黄河流域的适应性研究[J]. *水土保持学报*, 2004(1): 175-178, 196.
- [72] 孙绍聘. 灾害评估研究内容与方法探讨[J]. *地理科学进展*, 2001(2): 122-130.

## Application of Weather Generator in Disaster Risk Assessment

ZHOU Yuantao<sup>1,2</sup>, GAO Yuan<sup>2</sup>, LIU Fenggui<sup>1,3</sup> and WANG Jingai<sup>2,3</sup>

(1. School of Geographic Science, Xining Normal University, Xining 810008, China;

2. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. Academy of Plateau Science and Sustainability, Xining 810008, China)

**Abstract:** Weather Generator, a model generates meteorological data, uses stochastic process theory, combines probability theory and mathematical statistics, It can simulate high resolution continuous meteorological data in analyzing and predicting of spatio - temporal patterns of disasters. Based on sorting out the generation and development, the definition principle and usage of five mainstream weather generators, respectively, this paper focuses on the role of weather generator in natural disaster assessment. Results show that the mainstream weather generators are mainly based on Markov chain or semi - empirical models, which calculate the transfer probability and precipitation occurrence, and then obtain other daily meteorological data. In recent years, they are mostly used in hydrology, meteorology, agriculture and disaster risk assessment, etc. Weather generator can evaluate the intensity and frequency of disaster - causing factors in combination with disaster threshold value, or evaluate disasters in combination with hydrologic agricultural model; it can also be combined with crop yield estimation models to assess loss and vulnerability, or estimate future disasters with emission scenarios in global change. But each model also has some problems such as inaccurate numerical simulation, poor precision and poor extreme value simulation. The simulated data of weather generator is a kind of scientific proxy data in disaster assessment, further research on weather generator in disaster science is of great significance to disaster prevention and reduction.

**Key words:** weather generator; disaster assessment; hazard; hazard bearing body; loss