

文章编号: 1006-4354 (2004) 06-0027-04

# 山地降水的空间分布特征研究综述

张红平, 周锁铨

(南京信息工程大学资源环境系, 江苏南京 210044)

**摘要:** 降水是影响自然环境基础的因子, 是影响气候变化的重要指标, 关于降水尤其是山地降水的空间特征研究对防灾减灾和开发利用水资源具有重要意义, 本文对山地降水中地形的影响、降水空间分布研究方法以及国内外研究动态进行了综述, 认为: 对山地降水空间特征的研究必须结合数据本身的特点和空间特性选择合适的插值方法, 必须把随机插值方法和确定性方法结合起来, 要想进一步减小误差, 需要更多的降水数据和更为精准的地图数据。

**关键词:** 山地降水; 空间特征; 综述

**中图分类号:** P463.213

**文献标识码:** A

近百年来许多学者对降水从气候观测、模拟和理论等方面进行深入的研究<sup>[1-3]</sup>, 特别是近 20 a 来, 最为复杂的区域气候—山地气候从野外实地考察和机理研究等方面取得系统性的进展<sup>[4]</sup>, 尤其是地理信息系统技术和遥感技术的应用, 为山地气候研究增添了活力和开拓了新研究领域。关于山地降水研究对提高旱涝预报水平和减灾防灾、对开发利用山区农业气候资源及水资源综合利用都有重要意义。

## 1 地形对山地降水的影响

降水随地理、时间和季节而变化, 这种变化依赖于大气与地形因素。研究<sup>[3,4]</sup>表明, 除大气环流外, 影响山地降水的地形因子主要是: (1) 大山脉的走向、总体高度和长度; (2) 地方海拔高度; (3) 坡地方位 (坡向和坡度); (4) 地形形态。在影响山地降水空间分布的地理、地形因子中, 经度、纬度和海拔高度称宏观地理因子; 坡向和坡度称小地形因子<sup>[5,6]</sup>。可将气候要素值分解为趋势部分和偏差部分。趋势部分反映区域性的总的气候特征, 宏观因子 (经度、纬度、海拔高度等) 控制; 偏差部分反映局地气候变化, 受小地形因子 (坡度、坡向和随机) 影响<sup>[7]</sup>。因此, 降水气候要素的空间分布可表示为:

$$P = F(\lambda, \varphi, h) + \varepsilon \quad (1)$$

式中,  $P$  为所要模拟的降水气候要素,  $\lambda$  为经度,  $\varphi$  为纬度,  $h$  为海拔高度,  $\varepsilon$  为误差项, 其中  $F(\lambda, \varphi, h)$  为大地形影响的宏观本底值,  $\varepsilon$  为小地形和随机误差影响的结果。

## 2 降水空间分布研究方法

降水空间分布研究是根据气象和水文观测站点的资料采用某一方法用单点的降水资料推算其它点的降水。将观测站点上同一时间内实测的降水信息外推到整个研究区域的研究方法包括统计模型法、空间插值法和综合方法<sup>[8-11]</sup>: 统计模型法是根据实测站点信息, 建立降水同位置、地形及气象等因子间的关系, 模拟降水信息的空间变化规律。模型可表示为:

$$P_i = f(\lambda, \varphi, h, G, M) \quad (2)$$

式中,  $P_i$  为时间内的降水因子,  $\lambda$ 、 $\varphi$  分别为观测点经度和纬度,  $h$  为观测站海拔高度,  $G$  为地貌因子 (坡度和坡向等),  $M$  为气象因子 (风向和风速等)。空间插值法是利用多种数学模型, 拟合未采样点的降水信息。常用的方法有距离权重法 (IDW)、样条函数法 (Spline)、趋势面法、克里格法 (kriging) 和泰森多边形法等<sup>[12-14]</sup>。综合性方法是将统计模型同空间插值相结合的方法, 通

收稿日期: 2004-08-27

作者简介: 张红平 (1969-), 男, 陕西华阴人, 学士, 高工, 主要从事应用气象工作。

用表达式为:

$$P_t = P_{\text{reg}} + P_{\text{res}} \quad (3)$$

式中,  $P_t$  为栅格单元内降水因子在时间的平均值;  $P_{\text{reg}}$  为统计模型计算的降水因子数值;  $P_{\text{res}}$  为模拟的统计模型参差值。

统计模型均将实测站点的空间位置、地形因子和气象因子作为空间变量, 适用研究降水信息在大的空间尺度上的宏观性变化规律。缺陷为局部空间位置上模拟的降水因子误差较大, 很难反映或消除降水形成的物理机制及下垫面植被状况的影响。空间插值法受插值模型及样点数目的限制, 难以准确反映降水因子的空间变化。综合性方法是利用统计模型反映降水因子在空间上的宏观变化规律, 消除海拔高度对降水量空间分布的影响; 将统计模型在各个实测站点上的参差用较为理想的降水因子插值算法在空间插值, 消除统计模型局部的误差, 将统计模型及其参差的栅格空间分布式数据库, 按照栅格数据结构的代数计算法则进行空间叠加, 最终形成各栅格单元降水因子的空间分布式数据库。从理论和大量计算结果看, 综合法应该是研究降水因子空间变化的相对理想算法<sup>[15]</sup>。

### 3 国内外研究动态

近些年来, 国外学者对山地降水的空间分布研究<sup>[16-20]</sup>将海拔高度考虑到地理统计中, 一些研究<sup>[21-25]</sup>利用回归方程, 建立降水与地形变量值如纬度、经度、大陆度、坡度坡向的回归方程。B. Sevruc 等<sup>[26]</sup>在小山前流域降水分布研究中考虑了风和地形的影响。I. k. Tsanis<sup>[27]</sup>利用 ARC/INFO GIS 开发了直观显示降水分布的程序, 在程序中使用了 Spline、IDW 和 kriging 插值方法。G. Woltling 等<sup>[28]</sup>利用主成分分析方法分析地形特征中对降水分布影响的重要性, 通过 DEM 建立了降水分布模式。最近, Marquinez<sup>[29]</sup>考虑用许多地形变量如坡向坡度等作为多元回归因子, 求得降水空间的回归方程, 计算 30 a 的月平均的标准误差为 10%, 绝对误差为 8.1~26.1 mm, 是观测值的 13%~19%。但方法在山区得到的精度是有限的, Marquinez 为提高回归方程计算精度, 将研究区域的降水分为干季和湿季分别建立回归方

程。

李新等<sup>[30]</sup>对空间内插方法研究比较后得出: 没有绝对最优的空间内插方法, 只有特定条件下的最优方法。因此, 必须依据数据的内在特征, 依据对数据的空间探索分析, 经过反复实验, 选择最优空间内插方法。应对内插结果作严格检验。李新等<sup>[31]</sup>用反距离平方、趋势面、kriging 插值、Cokriging 插值和综合方法对青藏高原气温比较研究, 认为: 样本本身的空间分布是影响插值精度的重要因素, 合理的采样设计是必要的前提, 对于台站稀少的地区, 必须把随机插值方法和确定性方法结合起来估计气候变量的空间分布。此方法也同样适用于降水等其它气象要素。林忠辉等<sup>[32]</sup>选用了距离平方反比法、梯度距离平方反比法和普通克立格法 3 种插值方法进行了研究方法选取的探讨, 研究认为, 对一种气象要素合适的插值方法, 对另一种气象要素并不一定合适, 选择合适的插值方法要结合数据本身的特点和空间特性决定。庄立伟等<sup>[33]</sup>选用 kriging 法、以经纬度分布方向为权重的距离权重反比法 (IDW) 及带高度梯度订正的距离权重反比法 (GIDW) 3 种插值法对东北逐日气象要素进行插值方法研究, 对降水来说, IDW 估值精度高于 kriging, 而且插值结果的平滑程度较小, 更适合于日降水量的空间插值, 精度较高的原因在于研究中考虑了经向、纬向梯度、海拔高度梯度存在明显的季节性变化, 采用了根据气象要素经纬度方向确定权重, 以及根据气象要素高度梯度年内变化进行高度订正的结果。

气象要素空间插值方法研究已久, 所有的方法都是根据气象要素形成的气候学成因建立其与经度、纬度和海拔高度及其它地理因子影响的回归方程, 进而推算得到空间格点月、季、年值气象要素场<sup>[34-35]</sup>。近几年来, kriging 等地统计学方法在气象单要素等空间插值中得到较多应用, 对历史气象要素插值的时间尺度也发展到月、旬<sup>[32-36]</sup>。但这些插值方法只考虑观测站点间的空间关系, 而没有考虑其它景观特征, 插值精度有限。对观测台站稀少, 测点分布又不合理的地区, 空间内插是研究区域空间变量空间分布的基本方

法, 是建立空间 1 模型的前提之一<sup>[30]</sup>。数字地面模型是山地降水空间分布研究的基础数据, 不同的地形特征对降水的分布格局产生不同的影响。随着 GIS 的发展, 对降水等气候要素空间分布的研究有了新的平台。基于 GIS 的空间插值可以进一步减少误差, 提高插值的精度。

梁天刚等<sup>[15]</sup>利用 ARC INFO GIS 建立研究区的栅格数字高程模型 (DEM) 及近 30 a 的平均降水量空间数据库, 采用 9 种插值算法计算并比较分析了研究区多年平均降水量的时空变化, 结果表明: 综合方法计算精度最高, 最大相对误差为 6.395%, 其次为普通 kriging 法, 最大误差为 6.756%。李正泉等<sup>[37]</sup>应用地理信息系统和数据库等计算机技术, 采用趋势面分析、逐步回归、宏观地理因子模拟与小地形订正方法, 分区构筑东北 3 省降水和湿度空间分布的数学模型, 所得结果与实际较为吻合, 可满足多方面的应用。

## 4 讨论

4.1 山地降水空间分布可表示为宏观地形因子影响与小地形和随机误差影响的叠加。

4.2 降水空间变化的研究方法概括起来包括统计模型法、空间插值法和综合性方法。观测站稀少测点分布不合理的地区, 空间内插是研究变量空间分布的基本方法, 是建立空间模型的前提之一。在较小的空间尺度范围内, 综合法是研究降水因子空间变化的相对理想算法。

4.3 没有一种非常好的统计回归模式来模拟降水与地形因子之间的关系, 在进一步工作中要收集站点更多的研究区域降水数据。

4.4 一般而言, 空间插值总是存在误差, 只是误差的大小有所区别。如何提高插值精度、减小误差是目前国内外学术界致力研究的课题。

4.5 选择合适的插值方法必须结合数据本身的特点和空间特性经过反复实验确定, 同时, 应对内插结果作严格的检验。

4.6 样本本身的空间分布是影响插值精度的重要因素, 合理的采样设计是必要的前提。对于台站稀少的山区, 必须把随机插值方法和确定性方法结合起来估计气候变量的空间分布。

4.7 要想进一步减少拟合误差, 更真实地模拟降

水等气候要素的空间分布特征, 需要更多的数据和更为精准的地图数据。随着气象自动观测站的建立以及 GIS 技术和遥感技术在气候要素空间变化研究中的广泛应用, 这一问题有望得到解决。

## 参考文献:

- [1] 傅抱璞. 山地气候[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [2] 翁鸣鸣, 罗哲贤. 山区地形气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990. 303-383.
- [3] 林之光. 地形降水气候学[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [4] V Lakshmi. Introduction. In: V. Lakshmi, J. Albertson and J. Schaake. Land Surface Hydrology, Meteorology, and Climate: Observations and Modeling[R]. AGU, 2000, 1-4.
- [5] 高国栋. 气候学教程[M]. 北京: 气象出版社, 1996. 39-397.
- [6] 卢其尧, 傅抱璞, 虞静明. 山区农业气候资源空间分布的推算方法及小地形的气候效应[J]. 中国农业气象, 1990, 9(2): 27-32.
- [7] 任传友. 辽宁省 1 010 km 网格温度及玉米品种布局[J]. 气象学报, 2000, 58(增刊): 918-927.
- [8] 李江凤. 中国干旱、半干旱地区气候、环境与区域开发研究[M]. 北京: 气象出版社, 1988. 117-121.
- [9] P A Burrough. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment [R]. Clarendon Press, 1986: 147-165.
- [10] 黄兴元, 汤勤. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990. 123-130.
- [11] 常禹, 苏文贵. 台站数据空间放大的尺度分析方法研究——以沈阳市台站为例[J]. 资源生态环境网络研究动态, 1996, 7(1): 8-15.
- [12] Franre R. Smooth interpolation of scaatered path by local thin plate splines [J]. Comp & Maths with Appls Great Britain, 1982, 8(4): 237-281.
- [13] Oliver M A. kriging : a method of interpolation for geographical information systems [J]. International Journal of Geographic Information Systems, 1990, 4(4): 313-332.
- [14] Waston D F, Philip G M. Arefinement of inverse distance weighted interpolation [J]. Geoprocess-ing, 1985, (2): 315-327.
- [15] 梁天刚, 王兮之, 戴若兰. 多年平均降水资源空间

- 变化模拟方法的研究[J]. 西北植物学报, 2002, 20(5): 856-862.
- [16] Kurtzman, D, Kadmon, R. Mapping of temperature variables in Israel: a comparison of different interpolation methods[J]. *Clim. Res.*, 1999, (13): 33-43.
- [17] Oliver, M A, Webster, R. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems [J]. *Int J. Geogr. Inform. Syst.*, 1990, 4(3): 313-332.
- [18] Martínez-Cob, A. Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain[J]. *J Hydrol.*, 1996, 174(1~2): 19-35.
- [19] Prodhomme, C, Duncan, W R. Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: a case study in Scotland [J]. *Int. J. Climatol.*, 1999, 19(12): 1337-1356.
- [20] Goovaerts, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall[J]. *J. Hydrol.*, 2000, (228): 113-129.
- [21] Basist, A, Bell, G D, Meentenmeyer, V. Statistical relationships between topography and precipitation patterns[J]. *J. Clim.*, 1994, 7(9): 1305-1315.
- [22] Goodale C L, Alber J D, Ollinger S V. Mapping monthly precipitation, temperature and solar radiation for Ireland with polynomial regression and digital elevation model [J]. *Clim. Res.*, 1998, (10): 35-49.
- [23] Ninyerola M, Pons X, Roure J M. A methodological approach of climatological modeling of air temperature and precipitation through GIS techniques[J]. *Int. J. Climatol.*, 2000, 20(14): 1823-1841.
- [24] Wotling G, Bouvier Ch, Danloux J, Fritsch J M. Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment[J]. *J. Hydrol.*, 2000, (233): 86-101.
- [25] Weisse A K, Bois P. Topographic effects on statistical characteristics of heavy rainfall and mapping in the French Alps [J]. *J. Appl. Meteorol.*, 2001, 40(4): 720-740.
- [26] B Sevruc, M Nevenic. The Geography and Topography Effects on the Areal Pattern of Precipitation in a Amall Prealpline Basin [J]. *Wat. Sci. Tech.*, 1998, (37): 163-170.
- [27] I K Tsanis, M A Gad. A GIS Precipitation Method for Analysis of Storm Kinematics [J]. *Environment Modelling & Software*, 2001, (16): 273-281.
- [28] G Wolting, Ch Bouvier, J Danloux etc. Regionalization of Extreme Precipitation Distribution Using the Principal Components of the Topographical Environment. *Journal of Hydrology* [J], 2000, (233): 86-101.
- [29] Marquínez J, Lastra J, Garcia P. Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis [J]. *J. Hydrol.*, 2003, (270): 1-11.
- [30] 李新, 程国栋, 卢玲. 空间内插方法比较[J]. *地球科学进展*, 2002, 15(3): 260-265.
- [31] 李新, 程国栋, 卢玲. 青藏高原气温分布的空间插值方法比较[J]. *高原气象*, 2003, 22(6): 565-573.
- [32] 林忠辉, 莫兴国, 李宏轩, 等. 中国陆地区域气象要素的空间插值[J]. *地理学报*, 2002, 57(1): 47-56.
- [33] 庄立伟, 王石立. 东北地区逐日气象要素的空间插值方法研究[J]. *应用气象学报*, 2003, 14(5): 606-615.
- [34] 尚宗波, 高凉, 杨莫安. 利用中国气候信息系统研究年降水量空间分布规律[J]. *生态学报*, 2001, 21(5): 689-694.
- [35] 周锁铨, 缪启龙. 山区降水资源的小网格分析方法气候资源开发利用[M]. 北京: 气象出版社, 1995.
- [36] 魏凤英, 曹鸿兴. 我国月降水和气温网格点资料的处理和分析[J]. *气象*, 1994, 20(10): 26-30.
- [37] 李正泉, 于贵瑞, 刘新安, 等. 东北地区降水与湿度气候资料的栅格化技术[J]. *资源科学*, 2003, 25(1): 72-77.