

基于 DEM 的甘肃省降水资源分析

张旭东^{1,2}, 辛吉武³, 王润元¹, 尹 东⁴

(1. 中国气象局 兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 兰州区域气候中心, 甘肃 兰州 730020; 3. 海南省气象局, 海南 海口 570203; 4. 甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 对甘肃省 80 个气象站近 30 a(1971~2000)的降水量资料, 利用地理信息系统(GIS)技术进行数据栅格化, 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等方法, 建立全省降水空间分布的数学模型。从推算结果看: 甘肃省降水资源分布差异很大, 从 100 mm 以下到 800 mm 以上均有分布, 而且基本上呈现由东南向西北逐级减少的趋势; 甘肃省干旱区($r<300$ mm)面积最大, 达到184 144.01 km², 占到全省面积的 46.6%。

关键词: 降水; DEM; 甘肃

中图分类号: S161.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)05-0001-05

甘肃省地处黄土高原、内蒙古高原和青藏高原汇集区(经度 100. 76°E~108. 71°E、纬度 32. 6°N~37. 63°N、海拔 600~4 830 m), 地处内陆, 地形复杂, 气候类型多样, 从降水资源的角度看, 东北部属半湿润气候区, 南部属湿润气候区、中部属半干旱气候区, 而河西基本上属于干旱气候区, 这一地区地形复杂、气候类型多样, 而气象观测站点稀疏, 全省仅有 81 个气象站。更细化地分析降水资源的分布状况, 开展降水信息空间化显得十分重要。

气象数据的空间化技术的核心是空间内插方法, 空间内插就是根据已知的空间数据估计(预测)未知空间的数据值。插值形成的气候空间如同时空过程的断面, 能由点到面地反映气候在特定时间跨度上的状态, 从而扩展了原始气象数据的时空内涵, 所产生的派生数据更能反映气候的自然地理特征^[1]。常用的空间插值方法有趋势面、克里格、样条插值、多元回归以及利用统计技术(多元回归技术)、地理信息系统技术(GIS)、空间插值技术三者的综合集成来完成气象数据的空间插值^[2]。

目前国内外对降水、温度等气象要素的空间化技术的研究很多, 如刘新安等^[3]认为降水的多年平均气候值采用三维二次趋势面+反距离权重法(IDW)效果较好, 可以满足实际需要。而蔡福等人研究表明, 澳大利亚插值软件 ANUSPLIN 插值效果很好^[4]; 周锁铨等人发展了逐步插值方法(SIA), 并与 GIS 技术和多元逐步回归方法结合, 显著提高了年、季降水空间分布的计算精度^[5]。廖顺宝、潘耀忠等人^[6~7]在温度的空间插值方面做了非常好的工

作。李新、梁天刚等人对空间内插方法进行了比较^[8~9], 但针对甘肃这一气候变化敏感区、生态脆弱区这方面的工作仍没有开展。从农业结构角度来看, 这里既有农牧交错带, 又有冬、春小麦种植的分界线。可以说这里是气候变化的敏感区, 同时也是生态环境的脆弱区。分析其降水分布特征, 有助于研究这一地区对气候变化的响应, 对生态环境的保护有着重要意义。

1 资料与方法

本文以近 30 a(1971~2000 年)的降水资料为基础, 结合 GIS 技术, 对区域内的降水资源进行细网格化分析。

主要基础资料来源: ①气象资料为甘肃省现有 80 个气象站(图 1)的 1971~2000 年 30 a 的年降水资料, 以及气象站的经纬度坐标和海拔高度数据。②地理数据为甘肃省 1:25 万数字高程(DEM)资料, 基于 DEM 数据衍生得到的研究范围内的 1:25 万经度和纬度栅格数据。

本文采用趋势面分析、逐步回归、宏观地理因子模拟与小地形订正等方法, 建立全省降水空间分布的数学模型。这种方法将气候要素值分解为两个部分: 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, 受大范围的系统性的宏观因子如经度、纬度、海拔高度等因素的控制; 偏差部分反映局地气候变化, 受局部的小地形因子和随机因素所影响^[5]。因此, 降水要素的空间分布可以表示为:

$$R = f(\lambda, \varphi, h) + \varepsilon \tag{1}$$

式中： R 为所要模拟的降水要素； λ 为经度； φ 为纬度； h 为海拔高度； ϵ 为误差项；其中 $f(\lambda, \varphi, h)$ 为大地形影响的模拟值； ϵ 为小地形和随机误差影响的结果。当忽略不计小地形因素时，式(1) 可以表示为：

$$R = f(\lambda, \varphi, h) \tag{2}$$

将(2) 式展开成三维二次趋势面，即：

$$R = a_0 + a_1 \lambda + a_2 \varphi + a_3 h + a_4 \lambda \varphi + a_5 \varphi h + a_6 \lambda h + a_7 \lambda^2 + a_8 \varphi^2 + a_9 h^2 \tag{3}$$

式中： $a_0 \sim a_9$ 为待定系数。

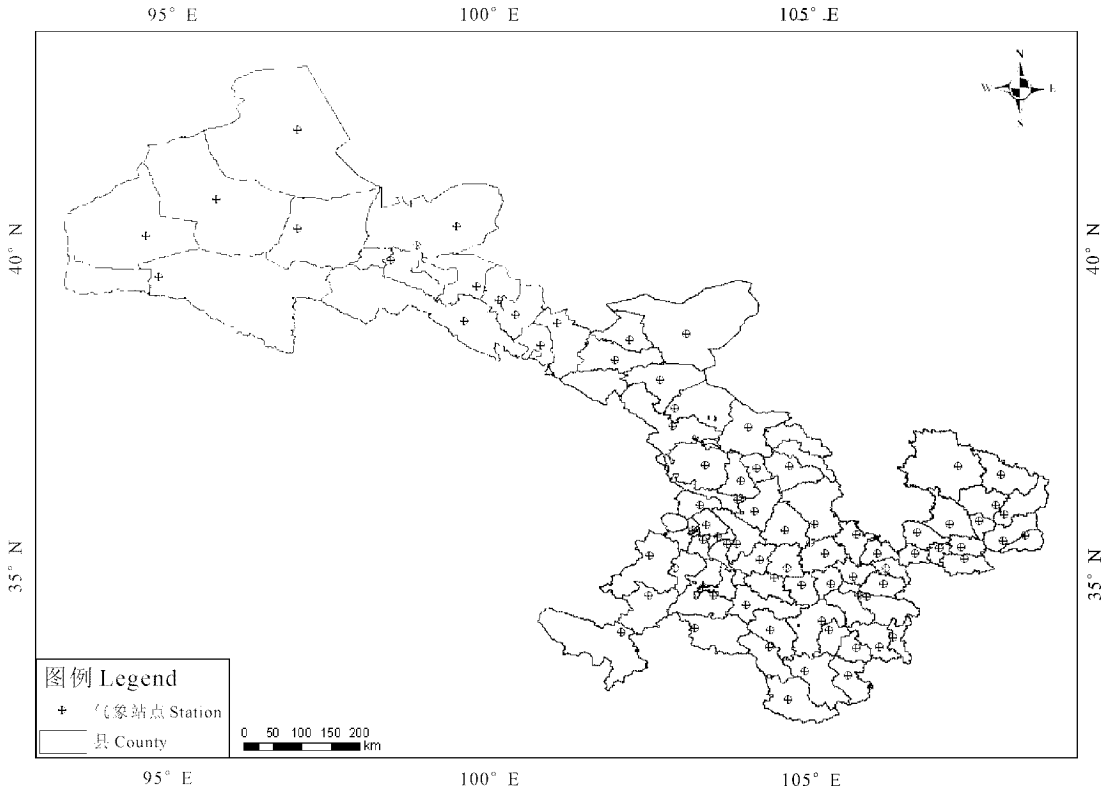


图 1 甘肃省气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Gansu Province

建模时，对年平均降水量与经度、纬度和海拔高度(宏观地理因子)进行逐步回归，这样可得到降水与宏观地理因子的模拟方程。然后把宏观地理因子的栅格图代入到方程进行图层运算，可得到降水的趋势栅格图。从趋势栅格图中提取相应建模站点的趋势值与实测值相减获取残差，这部分可以看作是小地形综合影响的效应，把残差用反距离权重法进行内插获得残差面，最后把残差面与趋势栅格图进行图层叠加运算获取订正趋势面。

2 降水数据栅格化

依据上述方法，用区域内的所有气象站 30 a 平均降水量为分析样本，将各站点的经度、纬度和海拔高度三个地理因子作三维二次趋势面展开，生成 9 个因子，以降水为因变量进行逐步回归分析，得到甘肃省降水资源的地理推算模型如下：

$$R = -13012.4 + 696.6425 \varphi - 7.346993 \lambda \varphi + 1.453992 \lambda^2 + 0.2737375 h^2 \tag{4}$$

经过逐步回归分析，进入模型的因子有 4 个： φ 、 $\lambda \varphi$ 、 λ^2 、 h^2 ，复相关系数 $R = 0.94$ ，达到了极显著水平(信度 $\alpha = 0.01$)。

从误差分布情况来看(表 1)，模型推算降水与实际降水的平均相对误差为 15.7%，相对误差最小为 0.1%(庆阳县)、最大为 133.3%(敦煌)。造成平均误差比较大的原因，经过我们分析，主要是地处干旱区的敦煌、白银等地的降水量比较小，造成相对误差超过 50%，进而影响到平均的误差水平。

可以看出，宏观地理因子模拟的趋势方程的误差较大，为了减小方程的拟合误差，提高模型的精度，应对趋势方程进行残差(ϵ)订正。残差订正的方法很多^[4]，我们选用基于 GIS 的样条插值法。经过订正后的降水栅格图误差明显减小，提取图层中建模站点的值，进行误差分析，平均相对误差降至 1.5%，最大为 13.5%，其中 75 个站点的相对误差在 5%以内，占总站点数的 93.8%。

表 1 模型计算降水与实际降水的误差分布

Table 1 Distribution of the errors between predicted and actual observed precipitation

项目 Item	0~5%	5%~10%	10%~20%	20%~30%	>30%	合计 Total
站点数 Stations	24	11	25	12	8	80
百分比 Percentage	30.0%	13.8%	31.3%	15.0%	10.0%	100.0%

3 降水资源分布特征

由图 2 可以看出,甘肃省降水量分布差异非常大,从 100 mm 以下到 800 mm 以上均有分布,而且基本上呈现由东南向西北逐级减少的趋势,最大值在陇南南部的康县、徽县部分地区和甘南高原的局部,年平均降水量超过 700 mm;降水量 600~700 mm 主要分布在甘南南部和陇南东部、天水市麦积区和庆阳正宁县的东南部区域,以及定西南部 and 祁连山区的局部区域;从陇南中部经天水中部、平凉大部到庆

阳东部一线以及定西西部和临夏东部的降水量在 500~600 mm;降水量 400~500 mm 主要分布在定西中部和天水、平凉、庆阳三市的西部以及祁连山区部分地带;兰州市大部、白银市东部、定西和庆阳两市北部的局部以及河西祁连山北坡浅山区域的降水量在 300~400 mm 之间;而祁连山北坡沿山区域大多在 200~300 mm 之间,河西走廊大部分地区的降水量在 200 mm 以下,其中最小值出现在走廊地带西部的金塔、玉门、敦煌,年平均降水量不到 100 mm。

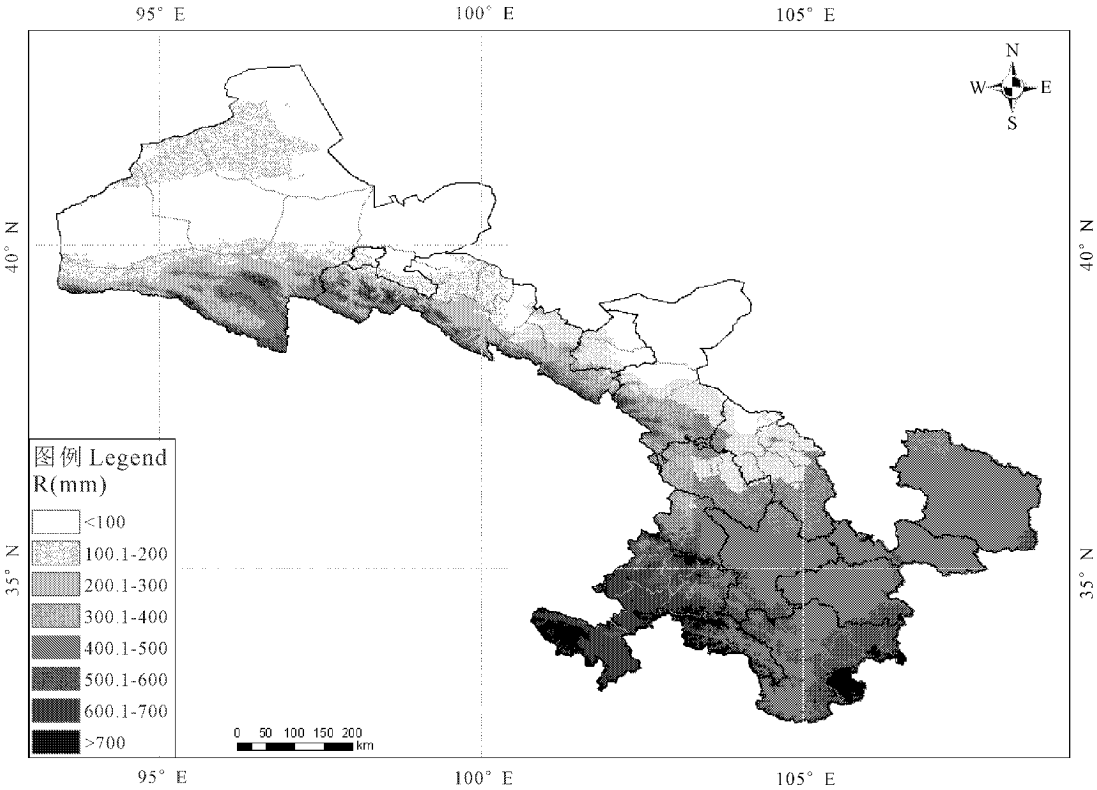


图 2 甘肃省降水栅格图层

Fig.2 The grid figure of precipitation in Gansu

4 基于降水的气候分区

在甘肃省,根据气候分区的观点,一般认为年降水量在 300 mm 以下为干旱区,300~450 mm 为半干旱区,450~600 mm 为半湿润区,600 mm 以上为湿润区^[10]。根据这个划分标准,甘肃省的湿润区主要在陇南东部和甘南大部;半湿润区主要分布在临夏大

部一定西南部—陇南中部—天水—平凉大部—庆阳中部、东部的 V 字形区域内;庆阳西北部、平凉西部、定西北部、兰州大部、白银东部以及祁连山浅山地区为半干旱区;兰州局部、白银西部及河西大部为干旱区。根据在 ArcGIS 中的计算,甘肃省干旱区($r < 300$ mm)面积最大,达到184 144.01 km²,占到全省面积的46.6%(表 2)。

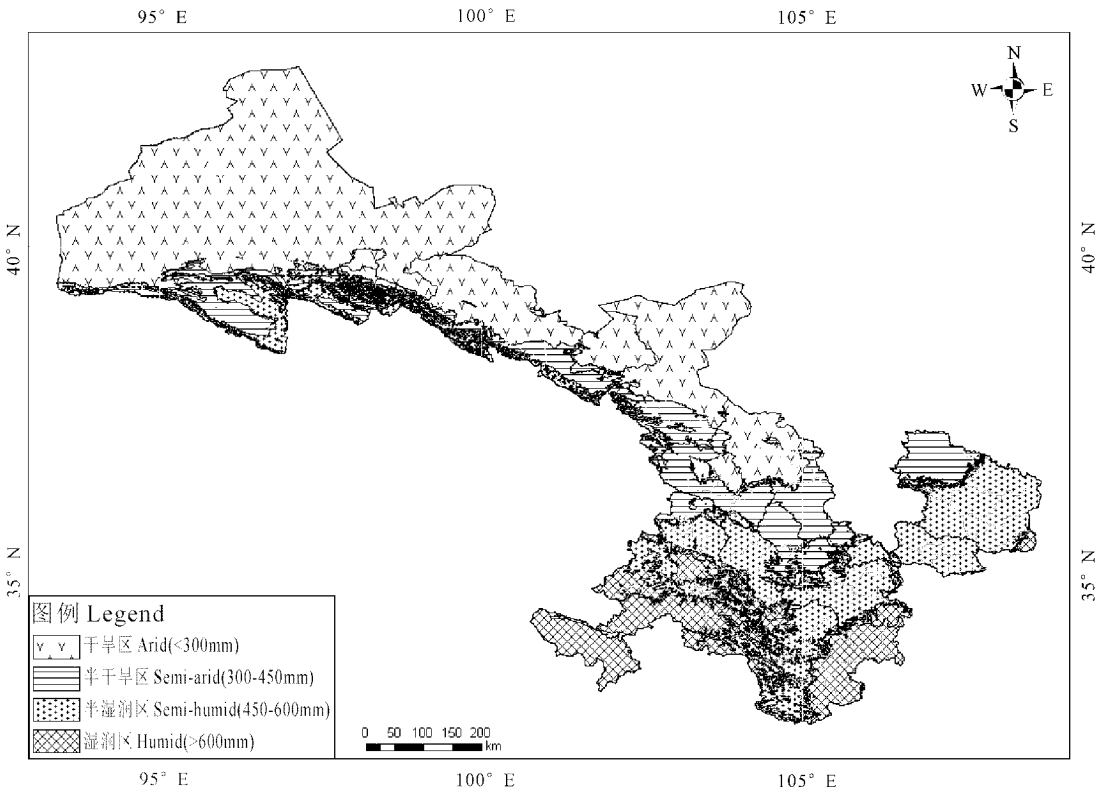


图 3 甘肃省气候区分布
Fig. 3 The distribution figure of climate in Gansu

表 2 甘肃省各气候区面积

Table 2 The area of different climatic regions in Gansu

分区 Subarea	面积(km ²) Area	占全省面积百分比 Percentage of the whole province area
干旱区(<300mm) Arid areas	184144.01	46.6%
半干旱区(300~450 mm) Semi-arid areas	68004.92	17.2%
半湿润区(450~600 mm) Semi-humid areas	88885.21	22.5%
湿润区(>600 mm) Humid areas	54109.08	13.7%

5 讨论

利用数字高程模型(DEM)推算降水量,可以精细化反映区域内降水资源的分布状况,突显地域差别,这种差别为农业结构调整,发展特色农业、精细农业提供了依据。

甘肃河东地区陇东及中部大部分区域的降水量在 300~500 mm,大多属于半干旱区,为旱作雨养农业区,水分条件是作物生长的主导因子,这一区域不仅降水变率大,而且呈减少趋势^[11]。随着全球气候变暖,这些地区的增温也较明显,如≥10℃活动积温

平均偏高 131.7℃,增幅在 10%以上,温度的增加加剧了干旱化。

甘肃河东陇南市、甘南高原、天水市东南部的降水量大多在 500 mm 以上,部分地方甚至超过 700 mm,降水条件能满足作物的生长,而这些区域的热量资源分布差异明显,科学的利用这一气候分布特点,可以开展精细化、多样性的种植,发展特色农业。如甘南高原以及定西市南部,≥10℃活动积温在 1 000℃以下,基本上作物籽粒不能成熟,不宜种植粮食及经济作物,应该以畜牧业为主;在陇南市东、南部的山区,地形复杂,山高沟深,热量资源垂直分布明显,在徽(县)成(县)盆地、文县、武都、康县的山(河)谷地带,≥10℃活动积温值都在 3 400℃以上,其中文县河谷地带甚至超过 4 000℃。可以达到一年二熟,部分地方可以种植各类喜温作物。

在甘肃河西除祁连山区外,大部分地区降水量在 200 mm 以下,属干旱气候,降水量达不到农作物正常生长所需水分条件,属典型的灌溉农业区。但由于光照、热量资源都较丰富,所以只要具备灌溉条件,农作物无论品质还是产量均能达到较高水平。

本文只是从降水资源的角度分析甘肃省气候特点及对种植结构的影响,综合考虑其它要素对农业生产的影响有待今后更加细致的工作。

参 考 文 献:

[1] 阎 洪. 气候时空数据的样条插值与应用[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 27—31.

[2] 蔡 福, 于慧波, 矫玲玲, 等. 降水要素空间插值精度的比较——以东北地区为例[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 73—79.

[3] 刘新安, 于贵瑞, 范辽生, 等. 中国陆地生态信息空间化技术研究Ⅲ—温度、降水等气候要素[J]. 自然资源学报, 2004, 19(6): 818—825.

[4] 蔡 福, 于贵瑞, 祝青林, 等. 气象要素空间化方法精度的比较研究——以平均气温为例[J]. 资源科学, 2005, 27(5): 173—179.

[5] 周锁铨, 薛根元, 周丽峰, 等. 基于 GIS 降水空间分析的逐步插值方法[J]. 气象学报, 2006, 64(1): 100—111.

[6] 廖顺宝, 李泽辉. 积温数据栅格化方法的实验[J]. 地理研究, 2004, 23(5): 633—640.

[7] 潘耀忠, 龚道益, 邓 磊, 等. 基于 DEM 的中国陆地多年平均温度插值方法[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 366—374.

[8] 李 新, 程国栋, 卢 玲. 空间内插方法比较[J]. 地球科学进展, 2000, 15(3): 260—265.

[9] 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, 2000, 20(5): 856—862.

[10] 张旭东, 柯晓新, 杨兴国, 等. 甘肃河东小麦需水规律及其分布特征[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(1): 39—44.

[11] 宋连春, 张存杰. 20 世纪西北地区降水量变化特征[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 143—148.

Analysis of precipitation in Gansu Province based on DEM

ZHANG Xu-dong^{1,2}, XIN Ji-wu³, WANG Run-yuan¹, YING Dong⁴

(1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster in Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou, Gansu 730020, China; 3. Hainan Meteorological Bureau, Haikou, Hainan 570203, China; 4. Gansu Meteorological Bureau, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: Based on precipitation data of 80 meteorological observation stations in Gansu Province in the latest 30 years (1971~2000), the geographic information system (GIS) method was used to rasterize the data. The results showed that the mathematic model about precipitation space distribution in the whole province built by the methods of stepwise regression, macro geographical factors simulation and revision of little topographic influence and etc. has the characteristic of less error. The average relative error was 1.5%. The calculated result indicated that the difference of precipitation resources distribution in Gansu Province was very big over a wide range from 100 mm to 800 mm, which displayed a tendency of decreasing mainly from southeast to northwest. The arid area ($r<300$ mm) was 184 144.01 km² in Gansu Province, accounting for 46.6% of the province's whole area.

Keywords: precipitation; DEM; Gansu