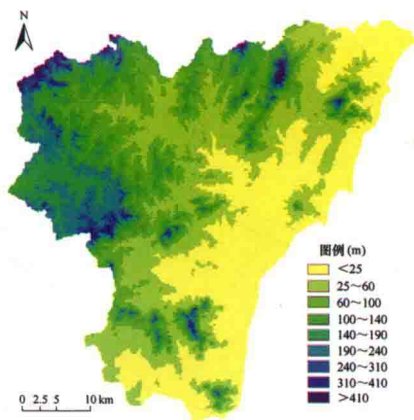


王林林 著



基于DEM的 气候因子模拟与应用



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

基于 DEM 的 气候因子模拟与应用

王林林 著



冶金工业出版社

2018

内 容 提 要

本书介绍了基于数字高程模型 (DEM) 数据和气象站的气象观测数据 (气温、降水、相对湿度、风速等), 运用地理信息系统空间分析技术对气象数据进行空间插值, 通过 DEM 数据进行订正, 得到实际地形下气候因子的时空分布格局的方法; 并以气候舒适度模拟和茶树种植适宜性评价为例, 介绍了气候因子模拟结果在实际生产生活中的应用。

本书可供相关领域的科学技术人员和高等学校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

基于 DEM 的气候因子模拟与应用 / 王林林著. —北京: 冶金工业出版社, 2018. 1

ISBN 978-7-5024-7729-5

I. ①基… II. ①王… III. ①数字高程模型—应用—气候变化—研究 IV. ①P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 011881 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 杨 帆 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7729-5

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版, 2018 年 1 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 4. 125 印张; 131 千字; 121 页

30. 00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号 (100010) 电话 (010)65289081 (兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

前 言

气候信息是进行生态学、农学、地学等各种学科研究的基础数据资源，生态系统各模型的建立，都离不开气候要素时空分布信息；农业生产和布局、特色农业的发展、农业结构调整、精细化农业等也离不开气候要素的时空分布信息。现代生态学和全球气候变化科学的发展，迫切需要空间精细化模拟的栅格气候数据，并且对时空分辨率的要求也越来越高。然而现阶段全球地面气象站还难以提供时空尺度分辨率较高的数据，因此，对气候数据进行精细化模拟势在必行。地理信息科学（GIS）和计算机技术的快速发展以及数字高程模型的建立，为气候资源精细化模拟研究提供了基础条件。由于地形因子对气候影响作用的显著性，精确的地形分析将大大提高气候资源模拟的精度。而 DEM 恰恰能够提供经度、纬度、高程信息以及坡度、坡向、地形粗糙度等地形因子，并为进行气候资源的逐栅格空间推算提供了条件，最后还可用来对模拟结果进行可视化表达。在气候因子模拟中引入 DEM，不仅可以提高计算速度、增加模拟的精确性，还能对模型起到优化的作用。

本书介绍了基于数字高程模型 (DEM) 数据和气象站的气象观测数据 (气温、降水、相对湿度、风速等), 运用地理信息系统空间分析技术对气象数据进行空间插值, 通过 DEM 数据进行订正, 得到实际地形下气候因子的时空分布格局的方法; 并以气候舒适度模拟和茶树种植适宜性评价为例, 介绍了气候因子模拟结果在实际生产生活中的应用。本书前 3 章介绍了研究的背景、相关研究进展和研究所用的基础理论与方法; 第 4 章至第 7 章分别介绍了利用 DEM 数据订正下的实际地形下的气温、湿度、风速、降水的空间分布格局模拟方法和结果分析; 第 8 章和第 9 章分别以山东省气候舒适度研究和日照市茶树适宜性评价为例, 介绍了基于 DEM 的气候因子模拟在实际中的应用。

本书的研究内容是在山东省高等学校科技计划项目 (项目编号: J12LH53, 项目名称: 基于数字高程模型的山东省气候因子模拟及气候舒适度研究) 和山东省重点研发计划项目 (项目编号: 2015GSF117032, 项目名称: 山东省大气环境质量时空分异及预报预警研究) 的基础上完成的。滨州学院为本书提供了出版经费资助; 在研究和成书过程中, 得到了滨州学院左登华教授、邹美玲老师、李德一副教授、董立峰副教授、李吉英副教授的热情帮助和大力支持, 在此深表

谢意！

另外，因印刷条件的限制，许多彩色图片在书中显示为灰度图，内容不易区分，如有读者感兴趣，可向作者索要电子版彩图（邮箱 gistree@126.com）。

由于作者水平所限，书中不足之处，敬请读者批评指正。

作 者

2017 年 11 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究进展	1
1.2.1 气温空间分布模拟研究进展	1
1.2.2 风速空间分布模拟研究进展	3
1.2.3 降水空间分布模拟研究进展	3
第 2 章 数字高程模型	5
2.1 DEM 概述	5
2.2 DEM 的表示方法及特点	6
2.2.1 规则网格 (Grid) DEM 表示法	6
2.2.2 不规则三角网 (TIN) 表示法	7
2.3 DEM 的发展及研究现状	7
2.4 DEM 的构建方法	8
2.5 研究区 DEM 数据概况	9
2.5.1 山东省 DEM 数据概况	9
2.5.2 日照市 DEM 数据概况	9
2.6 DEM 在气候因子模拟中的作用	11
第 3 章 数据来源与研究方法	13
3.1 数据来源	13
3.2 常用的内插方法	13
3.2.1 距离权重法	14
3.2.2 趋势面插值法	14
3.2.3 克里格法	15
3.2.4 样条函数法	16

第4章 基于DEM的气温空间分布模拟	17
4.1 气温分布的影响因子	17
4.2 气温空间分布模拟技术流程	18
4.3 气象站气温的内插	18
4.4 天文辐射的模拟	19
4.4.1 基本概念	19
4.4.2 天文辐射的模拟	22
4.4.3 实际地形下的气温模型	23
4.4.4 气温模拟结果	24
第5章 基于DEM的湿度空间分布模拟	27
5.1 湿度模拟过程	27
5.2 湿度模拟结果	27
第6章 基于DEM的风速空间分布模拟	30
6.1 复杂地形下风速变化的基本模式	30
6.1.1 近地层风速的垂直变化	30
6.1.2 不同地形部位上的风速差异	31
6.2 风速模拟的思路与方法	32
6.2.1 预设条件	32
6.2.2 技术流程与算法设计	33
6.3 数据处理过程	35
6.4 风速模拟结果	36
第7章 基于DEM的降水空间分布模拟	38
7.1 降水模拟的技术流程	38
7.2 降水量统计回归模型	39
7.3 降水量残差图	40
7.4 模拟结果及验证	41
7.4.1 模拟结果及分析	41

7.4.2 模型验证	42
第8章 山东省气候舒适度研究	44
8.1 研究背景	44
8.2 气候舒适度研究进展	44
8.3 研究内容与方法	45
8.4 气候舒适度模拟	46
8.5 结论与讨论	50
8.5.1 结论	50
8.5.2 讨论	51
第9章 日照市茶树种植适宜性评价	52
9.1 研究背景	52
9.2 研究区概况	52
9.2.1 试验样区的确定	52
9.2.2 试验样区选择的依据	53
9.2.3 试验样区概况	54
9.3 数据处理与技术流程	56
9.3.1 主要数据源	56
9.3.2 空间数据处理	57
9.3.3 技术路线	58
9.4 太阳辐射的模拟	58
9.4.1 研究进展	58
9.4.2 太阳直接辐射的模拟	60
9.4.3 山地散射辐射的模拟	73
9.5 气温模拟	80
9.5.1 辐射订正前后的温度对比	80
9.5.2 月平均温度	83
9.5.3 极端低温	88
9.6 风速模拟	90
9.6.1 茶树冻害的类型	90

9.6.2 一月份风速模拟.....	90
9.7 试验样区茶树种植适宜性评价.....	95
9.7.1 茶树种植适宜性评价指标体系.....	95
9.7.2 典型区茶树种植适宜性评价	100
9.7.3 研究区评价结果的验证	109
9.7.4 适宜性评价结果与分析	112
9.8 总结与展望	115
9.8.1 本研究的特点	115
9.8.2 主要结论	116
9.8.3 问题与展望	116
参考文献.....	118

第 1 章

概 述

1.1 研究背景与意义

气候的形成,除地理纬度、离海洋距离远近、季节以及大气环流等背景条件外,在很大程度上受到区域本身地形特点的影响。GIS 的发展以及 DEM 的建立,使得区域气候因子的模拟得以实现。由于地形因子对气候影响作用的显著性,精确的地形分析将大大提高气候资源模拟的精度。而 DEM 恰恰能够提供经度、纬度、高程信息以及坡度、坡向、地形粗糙度等地形因子,并为进行气候资源的逐栅格空间推算提供了条件,最后还可用来对模拟结果进行可视化表达。在气候因子模拟中引入 DEM,不仅可以提高计算速度、增加模拟的精确性,而且还能对模型起到优化的作用。

基于 DEM 的气候因子模拟能够为农业区划及农业资源评价提供依据,为城市宜居性评价提供依据,对于更加有效地利用气候资源,也有着重要的意义。利用 DEM 进行气候因子的模拟,成为了气象学与地理信息科学融合发展的纽带和桥梁:对于气象学来说,为区域气象资源的空间模拟与可视化表达提供了新的研究手段与研究思路。对地理信息系统科学而言,能够不断拓宽研究与应用的领域,加深研究的层次,并且为进一步探求地形对区域气候的影响,拓宽地形因子挖掘的范围奠定基础。学科之间的结合不断碰撞出新的思想火花,能够更好地服务于人类的生产生活。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 气温空间分布模拟研究进展

气温是最重要的气象要素之一,对农业影响尤为显著,是农作物

生长、发育和产量形成必须依赖的关键气象要素。气温在实际地形下的空间分布特征、变化规律对人们的生产活动具有非常大的影响^[1]。由于纬度、海陆分布以及地势地貌与下垫面的特性不同,造成气温资源在空间分布上有明显的区域差异,在地形复杂观测资料相对稀少的地区,气温的空间分布的推算一直以来是一道难题。

国外, Mccutchan 探讨了山区温度场的预报问题^[2], 栗原弘一等研究了 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 网格的气温推算问题, Joan Sohumaker 给出了气温多元回归模型^[3]。近年来, 美国 Oregon 州立大学空间气候研究中心所建立的 PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model) 模型在此领域研究影响比较大^[4~6]。该模型是一种基于地理空间特征和回归统计方法生成气候图的专家系统, 可以进行大范围的气温推算。国内, 自 20 世纪 70 年代中期以来, 一些学者相继提出了用数值统计模拟方法来推算气温分布的模式。

综观这些研究成果, 气温要素的推算方法主要有:

(1) 分离综合法。这是一种分项叠加的方法, 傅抱璞^[7]、卢其尧^[8]作了较为完整的论述。此方法从理论上以及实际处理上都较合理, 是目前各地用得比较普遍的一种方法。但该方法不能满意地解决小地形订正值的估算问题, 且需要小地形考察资料。

(2) 成因分析法。这种方法是建立在野外考察资料基础上的, 在山区温度形成的成因分析上比较合理, 抓住了主要影响因素^[9]。

(3) 回归余项法。此方法由沈国权^[10]提出, 他认为, 平均气温可表示为地理纬度、经度、海拔高度的多元一次回归方程, 其回归余项为地形影响项。

上述方法实际上都是以回归方程为基础。受经度、纬度、海拔等基础地理信息获取手段的限制, 传统的气候资料推算方法多集中在局部区域。不同气候要素在不同地区呈现不同的空间分布规律, 这极大地限制了气候要素空间扩展研究的进行, 也不利于气候要素空间分布规律研究的深入^[11,12]。

随着地理信息系统 (GIS) 的迅速发展, 在 1990 年代后期, GIS 技术开始用于气温资源的定量评估分析, 提高了分辨率, 大大减少了工作量。陈晓峰^[13]、张洪亮^[14]、程路^[11]、杨昕^[15]、王林林^[16,17]

等在气象站点实测数据基础上,利用 GIS 技术获取影响山地气温分布的地形要素进行了气温空间分布的推算。由于这些推算方法是建立在地理信息和计算机技术的基础上,可更好地反映气温分布的一些细部特征从而提高分辨率。

1.2.2 风速空间分布模拟研究进展

风是空气运动的表征,它输送着不同属性的气团,产生热量和水分交换,对天气气候的形成和变化有着重要的作用,同时对经济建设和人民生活存在直接影响。山区风的状况,比之山区温度、湿度分布要复杂得多^[18]。

目前,在山地气流的数值模拟方面已有不少成果。国外, Jackson 和 Hunt^[19]提出了 J-H 模式,用解析方法导得了在二维理想地形条件下,计算气流速度、气压、应力扰动量的最大值公式,1976 年, YITZHAO MAHRER 和 ROGER A. PLELKE^[20]利用三维的非静力 PBL 模式模拟流场,来说明地形对风场的影响,主要集中在对局地风系的研究。加拿大 Walmsley^[21]研制出 GUIDE 模式来考虑不同地形和地表粗糙度对山顶风速的影响,并针对在实际工作中资料的选取情况,模拟复杂地形风速。国内,南京大学的王卫国和蒋维楣^[22,23]对 PBL 模式进行了研究和扩展应用;袁春红^[24]等考虑地形和地表粗糙度对山顶风速的影响,根据实际情况对 GUIDE 模式进行了改进;余琦^[25]通过引入一个表示地形起伏变化程度的因子,提出了一种计算起伏地形下风速的权重内插方法。利用上述理论模式可以对过山气流的湍流结构和应力变化进行详细描述和深入探讨,但由于这些数值模式通常是针对短时间的天气问题,包含的物理过程多,对初始资料的条件要求高,需要求解具有特定边界条件的大气运动方程组,在实际工作中资料的搜集比较困难。如何利用常规气象资料推算各种具体地形条件下风速分布的实际状况,成为森林火灾、作物冻害等地学分析和评价领域中亟待解决的问题。

1.2.3 降水空间分布模拟研究进展

传统的降水研究方法,诸如分离综合法、小网格回归订正法、变

换界限法等,均以回归方程为基础,结合经度、纬度、高程等宏观地形因子估算对地形比较平坦地区的降水量,起到了一定作用。但是这些方法带有一定的时间和空间的局限性。

遥感技术与 GIS 技术的发展,为降水要素的空间扩展提供了先进的技术手段,使起伏地形下降水的空间扩展研究成为可能。近年来,国内外学者把 GIS 与 DEM、传统数学模型相结合,对降水量进行定量估算。诸如美国 Oregon 州立大学基于地理空间特征和回归统计方法建立的 PRISM 降水模型^[26],已广泛应用于气候研究的各个领域;国内学者^[27,28]在实测数据基础上,分析影响山地降水分布的地形要素,利用 GIS 技术计算实际地形下的降水分布,得到了一定的成效。基于 GIS 技术的降水量估算实际上是对站点数据进行空间插值运算,即将点数据转化为栅格数据,目前常用的降水量估算方法有几何方法、降水地统计学模型、降水综合模型、统计方法等,近年来应用数学和人工神经网络等新技术^[29]也逐渐被引入到降水空间分布上。实际模拟中,需要依据具体研究区域的自然地理特征以及数据的内在特征,对数据的空间分布特征进行探索,选择最优的降水拟合方法^[30]。

第 2 章

数字高程模型

2.1 DEM 概述

数字高程模型是通过有限的地形高程数据实现对地形曲面的数字化模拟或者说是地形表面形态的数字化表示 (Digital Elevation Model, 简称 DEM)^[31]。数字高程模型 DEM 是表示区域 D 上的三维向量有限序列, 用函数的形式描述为:

$$V_i = (x_i, y_i, z_i) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中, x_i 、 y_i 是平面坐标; z_i 是 (x_i, y_i) 对应的高程值。当该序列中各平面向量的平面位置呈规则格网排列时, 其平面坐标可省略, 此时, DEM 就简化为一维向量序列 $\{z_i, i=1, 2, 3, \dots, n\}$ 。

与传统地形图比较, DEM 有如下特点:

(1) 容易以多种形式显示地形信息: 地形数据经过计算机软件处理后, 可产生多种比例尺的地形图、纵横断面图和立体图。而常规地形图一经制作完成后, 比例尺不容易改变, 若改变或者绘制其他形式的地形图, 则需要大量的人工处理工作。

(2) 精度不会损失: 常规地图随着时间的推移, 图纸将会变形, 失掉原有的精度。而 DEM 采用数字媒介, 因而能保持精度不变。另外, 由常规的地图用人工的方法制作其他种类的地图, 精度会受到损失, 而由 DEM 直接输出, 精度可以得到保证。

(3) 容易实现自动化、实时化: 常规地图要增加和修改都必须重复相同的工序, 劳动强度大而且周期长, 不利于地图的实时更新。而 DEM 由于是数字形式的, 所以增加或改变地形信息只需将修改信息直接输入到计算机, 经软件处理后立即可产生实时化的各种地形图。

总之, 数字高程模型具有以下显著的特点: 便于存储、更新、传

播和计算机自动处理；具有多比例尺特性，如 1km 分辨率的 DEM 自动涵盖了更小分辨率如 10m 和 100m 的 DEM 内容；特别适合于各种定量分析与三维建模。

DEM 是多学科交叉与渗透的高科技产物，已在测绘、资源与环境、灾害防治、国防等与地形分析有关的各个领域发挥着越来越大的作用，在国防建设与国民生产中也有很高的利用价值。例如，在民用和军用的工程项目中计算挖填土石方量；为武器精确制导进行地形匹配；为军事目的显示地形景观；进行越野通视情况分析；道路设计的路线选择、地址选择；不同地形的比较和统计分析；计算坡度和坡向，绘制坡度图、晕渲图等；用于地貌分析，计算侵蚀和径流等；与专题数据进行组合分析，等等。并且还可以由 DEM 派生出平面等高线图、立体等高线图、等坡度图、晕渲图、通视图、景观图、立体透视图等。因此，DEM 具有广泛的应用前景与潜力。

2.2 DEM 的表示方法及特点

数字地形通常有等高线、规则格网（Grid）和不规则三角网（TIN）3 种不同的表示方法。通常所说的数字高程模型，主要是指规则格网 DEM 和不规则三角网 TIN^[32]。这两种形式的地形模型，结构相对简单，易于建立拓扑关系，以及对模型进行可视化和分析。其中，由于规则格网 DEM 在生成、计算、分析、显示等诸多方面的优点，应用更为广泛。

2.2.1 规则网格（Grid）DEM 表示法

为了减少数据的存储量及便于使用管理，可利用一系列在 x , y 方向上都是等间隔排列的地形点的高程 z 表示地形，形成一个规则格网 DEM。

在这种情况下，除了基本信息外，DEM 就变成一组规则网格存放的高程值，在计算机语言中，它就是一个二维数组或数学上的一个二维矩阵：

$$\text{DEM} = \{H_{ij}\}$$
$$i = 1, 2, \dots, m-1, m; j = 1, 2, \dots, n-1, n$$

此时, DEM 来源于直接规则格网采样点或不规则离散数据点内插产生。规则格网 DEM 的优点不言而喻, 如数据结构简单、便于管理和进行各种分析, 以及制作立体图等。高程矩阵特别有利于各种应用。但规则格网 DEM 也有缺点:

- (1) 地形简单的地区存在大量的冗余数据;
- (2) 如不改变格网大小, 则无法使用于起伏程度不同的地区;
- (3) 由于栅格过于粗略, 不能精确表示地形的关键特征, 如山峰、洼坑、山脊、山谷等。

为了压缩栅格 DEM 的冗余数据, 可采取用游程编码或四叉树编码方法对数据进行处理。

2.2.2 不规则三角网 (TIN) 表示法

为克服规则格网的缺点, 可采用附加地形特征数据, 如地形线 (山脊线、山谷线、断裂线、水涯线等) 和地形特征点等, 从而构成完整的 DEM。若将按地形特征采集的点按一定规则连接成覆盖整个区域且互不重叠的许多三角形, 构成一个不规则三角网表示, DEM 通常称为三角网 DEM 或 TIN。

不规则三角网 (Triangulated Irregular Network, 缩写为 TIN) 克服了高程矩阵中冗余数据的问题, 其最主要的优点就是可变的分辨率, 可根据不同地形, 选取合适的采样点数, 即当表面粗糙或变化剧烈时, TIN 包含大量的数据点, 而当表面相对单一时, 在同样大小的区域 TIN 则只需要少量的数据点。另外, TIN 还具有考虑重要表面数据点的能力, 能充分利用地貌的特征点、线, 较好地表示复杂地形, 进行地形分析也很方便。它多年来一直是人们的研究热点^[33]。当然, 正是这些优点导致了其数据存储与操作的复杂性, 因而不便于规范化管理。

不规则三角网 TIN 和规则格网 DEM 是可以互相转换的。在现今的 GIS 系统中, 基本上均支持以上两种数据格式, 并提供相互转换功能。

2.3 DEM 的发展及研究现状

数字地面模型是 20 世纪 50 年代由美国 MIT 摄影测量实验室主任