

山区气温空间分布推算方法评述

李 军, 黄敬峰

(浙江大学环境与资源学院, 农业遥感与信息技术研究所, 浙江 杭州 310029)

摘 要: 山区气温空间分布推算方法的研究是山地气候研究的重要组成部分, 对于合理利用山区气候资源具有重要意义。列举和讨论了我国在山区气温推算方面一些有代表性的方法和相关文献, 并重点分析了地理信息系统技术在山区气温推算中的应用。

关键词: 山区气温; 空间分布; 推算方法; 地理信息系统(GIS); 数字高程模型(DEM)

中图分类号: P463

文献标识码: A

我国是个多山的国家, 其山地面积(包括丘陵)约占我国国土总面积的三分之二, 几乎每个省都有广泛的山地分布^[1]。随着我国人口的增长、城镇和工业的迅速发展, 平原地区耕地面积愈来愈少, 人口密度愈来愈大, 自然资源愈来愈少, 而山区不仅土地面积大, 人口少, 而且动植物和矿产资源丰富。在山区, 由于山川纵横, 群峦起伏, 形成多种多样的气候类型和丰富的气候资源。温度是形成山地气候最重要的因子。对山区农作物和林木的分布高度以及农作物布局有很大影响, 也是在合理开发利用山区农业气候资源时所要考虑的重要因素。

山区地形复杂多样, 温度的空间变化很大。通过建立密集的山区气象观测网来研究山区气象要素的变化是不现实的, 本文所指的山区气温是山区气温的气候要素值, 是山区气温要素的长期平均值, 其推算方法是关于山区气温要素的气候值的推算。常采用的方法是利用山区所在区域内的常规气象站、山区气象站和个别气象哨的有限资料, 通过建立常规的数理统计模型推算或模拟山区气温的空间分布。20世纪自70年代中期以来, 虽然国内学者相继提出了一些计算方法和模型, 但是, 在模型的计算过程中, 存在计算烦琐、工作量大、精度不高、空间分布图制作困难等缺点。而地理信息系统技术有强大

的空间数据管理和分析功能, 以地理信息系统技术为手段建立网格数字高程模型, 从中提取出海拔高度、坡度、坡向等地形因子, 进行空间数据的统计分析研究山区气温的空间分布, 克服了以往统计模型在计算过程中的诸多缺点。但是, 在山区气温的推算方法方面, 大多数仍然停留在常规的经验水平或统计学水平上, 缺乏大气物理学方面的解释。本文对自70年代中期以来在山区气温空间分布推算中出现的一些有代表性的方法及其近年来地理信息系统技术在山区气温推算中的应用作了简要评述。

1 气温与地形

在山区, 除了要考虑海拔高度、纬度、离海远近等因素外, 还要考虑坡向、坡度、地形遮蔽等因素的作用, 为了研究这些因子的作用, 除了常规的山区气象站的资料, 需要建立站点密集的观测网, 或者使用其它可确定山地气温的方法。

1.1 山区地形因子对气温的影响

了解山区气温的推算方法之前, 需要了解山区的气温与地形之间的关系。影响山区温度条件的因素很多, 主要有经度(主要考虑离海远近)、纬度(主要考虑太阳辐射)、所在大山系的走向、气候背景条

收稿日期(Received date): 2003- 05- 28; 改回日期(Accepted): 2003- 10- 25。

基金项目(Foundation item): 浙江省自然科学基金(No. 30295); 浙江省重点项目(No. 011103192)资助。[Supported by Natural Science Foundation of Zhejiang Province(No. 30295) and the Key Project of Zhejiang Province(No. 011103192).]

作者简介(Biography): 李军(1974-), 男, 天津杨柳青人, 博士, 研究方向为农业遥感和地理信息系统应用。E-mail: zju_ljun@163.com。
[LI Jun(1974-), Male, born in Tianjin, China, Doctor, research fields mainly covering Agricultural Remote Sensing and application of Geography Information System. E-mail: zju_ljun@163.com]

件等, 测点的海拔高度, 地形条件(坡向、坡度、地形遮蔽度等)和下垫面性质(土壤、植被状况等)等。其中, 当山区范围较大时, 经度、纬度、海拔高度的影响是主要的; 当山区范围较小时, 经度和纬度的变化很小, 可以忽略, 海拔高度和地形条件的影响才是主要的。

在同样的地形条件下, 由于海拔高度不同, 山地气温有很大差异, 一般情况都是随着海拔高度的增加, 气温下降, 但其变化速率因山地性质和气候条件而不同。

地形与气温的关系十分复杂, 大地形(高原、山系和盆地等)能在大范围内的气温分布和变化产生明显作用, 局部地形的影响也能使短距离内的气温有很大的差别。中小地形对气温的影响也是相当复杂的, 由于方位不同, 日照和辐射条件各异, 导致土温和气温都有明显差异。

在我国多数山地是南坡的温度高于北坡。坡地方位对气温的影响因纬度和季节而异, 多数情况是高纬影响比低纬显著, 不同方位坡地的温度差异, 一般都是冬季最大, 夏季最小。小地形的坡地方位不同对气温也有明显的影响, 由于地形凹凸和形态不同, 对气温也有明显的影响^[2]。

1.2 数字高程模型(DEM)与山区气温推算关系

数字高程模型(Digital Elevation Model, 简称DEM)是地形表面的一个数学(或数字)模型, 它为地理信息系统进行空间分析和辅助决策提供充实而便于操作的数据基础^[3]。通过对数字高程模型进行空间分析, 可以快速提取出地形特征因子(如坡向、坡度、地形遮蔽度等), 而在常规的山区气温推算过程中, 得到这些地形特征因子需要烦琐的计算, 而且精度不高。由于山区气温的空间分布与地形特征紧密相连, 而数字高程模型能很容易地获取空间位置属性和地形特征, 可以为研究山区气温的空间分布提供强大的空间数据库。

2 我国山区气温推算方法的研究概况

从20世纪70年代中期, 一些学者相继提出了一些推算山区气温的方法, 主要使用数值统计模拟的方法。以傅抱璞、翁笃鸣、卢其尧等学者所做的工作为代表, 其中的一些方法至今仍在使用, 根据推算方法的思路过程, 本文对有代表性的方法总结归纳为两类。

2.1 分解综合法

这种方法是先将影响山区气温的因素分解为若干订正项, 针对不同订正项分别求解, 然后再进行代数相加, 从而计算山区气温的推算值。20世纪70年代末到80年代初, 该方法或类似方法在山区气温空间分布推算中得到一定的应用, 其中以分离综合法和小地形温差法为代表。罗伦(1978)提出类似方法, 通过纬度、海拔高度和环流特征对温度进行三步订正, 根据环流特征气温分布图来推算无测站地方的平均气温^[4]。梁敬(1981)考虑纬度、海拔高度的不同对山区气温进行订正推算^[5]。

傅抱璞(1984)根据宏观地理温差、小地形订正温差、气温直减率、推算点的海拔高度以及对照点的海拔高度和气温, 计算山区推算点的气温。较完整地提出分离综合法推算山区气温^[6]。本方法的关键在于确定准确的气温直减率和小地形订正温差, 这直接关系到推算结果的精度和实用价值。气温直减率对于地区范围较大进行分片或分区计算, 对于小地形订正温差, 利用实地气象观测资料, 根据标准高度上的宏观温度分布图可以知道该地点的小地形温度订正。如果没有实地气象观测资料, 可以采用地形相似法, 根据其它地方所得出的各种地形的温度订正值适当的使用, 但是, 当山区范围较大时, 纬度的影响突出, 可能会有较大误差。由于该方法属于分析法, 不便于直接利用计算机进行计算和制作气候要素空间分布图, 使其应用受到一定的限制。倪国裕(1984)使用分离综合法对湖北省建始县气象站的气温进行验算, 结果精度较高, 并以丘岗县荆门为例, 使用分离综合法和条件差值法进行比较来推算沙洋站的温度, 结果证明该方法误差较小^[7]。陈树林(1984)根据分离综合法, 结合太行山情况, 将局地小地形不同所造成的温差改为局部地形温差和小地形温差(河谷、沟谷等温差), 推算无测站地方的气温^[8]。

翁笃鸣等从小气候观点考虑, 起伏地形中温度状况的形成是由本身地形条件来决定的。提出对小地形温差的推算方法^[9], 将小地形引起的气温差分解为太阳辐射条件差异引起的气温差、夜间冷空气的沉积引起的气温差和入侵冷空气(平流)在沟地滞留引起的气温差, 在确定小地形气温差后, 再结合地理因子、宏观地形因素对山区气温的影响可以推算山区气温。对于小地形订正中三项气温差的确定方法, 翁笃鸣在文献[1]中较详细地进行了描述。但由

于考虑的对象是小地形,各个地方的地形条件都会有所差异,三种因素的影响程度也不一样,要依据具体情况具体分析,所以计算过程比较复杂。

2.2 函数相关法

这种方法是先建立山区气温与影响它的因素之间的函数的相关关系,再使用常规统计方法推算山区气温。主要包括统计模拟法、回归余项法和物候法等。

2.2.1 统计模拟法

本方法是由卢其尧首先提出^[10],他认为,山区某地的温度是宏观地理环境因素和微观地形因素的函数,用公式表示为

$$T = f(\lambda, \varphi, h, g, m) \quad (1)$$

式中 λ 为经度, φ 为纬度, h 为海拔高度, g 为除地理位置(经度、纬度)以外的其它宏观地理环境因素,主要是宏观地形, m 为除海拔高度以外的其它微观地形因素。

卢其尧(1988)根据福建省沙溪流域气象站、气象哨的温度资料,使用该方法推算山区年、月平均气温,并提供了相应的小地形温度订正值。而且利用计算机绘制福建省沙溪流域山区 20 万分之一精度、经纬度网格为 $0.5' \times 0.5'$ 的年、月平均气温空间分布图^[10,11]。虞静明(1988)使用类似的多元回归分析推算山区温度的宏观分布,并针对小地形的温度订正值作了较详细的分析^[12]。

2.2.2 回归余项法

本方法由沈国权^[13]较完整地提出,他认为在一个较大的地区,年、月平均气温的推算方程可以表示为

$$T = a_0 + a_1 \varphi + a_2 \lambda + a_3 h + \Delta T \quad (2)$$

式中 a_0, a_1, a_2, a_3 为经验系数; λ 为经度; φ 为地理纬度; h 为海拔高度; ΔT 为温度的地形订正值。

回归余项法与统计模拟法比较相似,区别在于如何确定不同的地形订正项。回归余项法考虑的对象是一个较大的区域,对于一个小区域,由于经度、纬度和海拔高度可以是互不独立的,应用此回归方程不合适;将回归误差作为地形影响的近似估计考虑也太粗略。

在此之前,也有人提出类似方法来推算山区气温。郭康(1982)通过划分地形小网格绘制出河北省邢台县年平均气温分布图^[14]。袁育枝(1982)将温度因子与海拔高度、纬度之间建立二元回归方程,对河北省年平均气温、 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温进行空间分布推

算^[15]。沈国权(1984)依据该法对湖南省典型月份建立了推算方程,并绘制出全省小网格(格网为 $10' \times 10'$) 气温分布图^[13]。由于该方法在处理上比较方便,通过划分地形小网格拟合推算气温,在空间分辨率上,提高了推算精度,效果较好,所以广泛地被使用。以下是使用该方法进行温度推算的主要文献。倪国裕(1988)使用该方法对神农架山脉内的 5 个气象站和 19 个考察站的温度资料进行拟合,建立了该山区年、月平均气温和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的多元回归推算方程^[16]。王善型(1988、1989)使用该方法分别对安徽省歙县、宿松县内气象站、哨的温度资料进行处理分析,以经纬度 $2'$ 为步长,作出冬季各低温因子的小网格温度场分布图^[17,18]。张养才(1988)利用秦巴山区 20 年(1961~1980 年)所有台站的实测温度资料,以经纬度 $10'$ 为步长,读取大比例尺地形图经纬度小网格高度,分析了秦巴山区各温度场结构^[19]。殷剑敏(1988)、姜效泉(1988)、广东省气象局农业气象研究室(1988)利用各自省内气象台站 20 年(1961~1980 年)的气温资料,建立气温推算方程,以经纬度 $10'$ 为步长,分析各自省内的热量资源情况^[20~22]。王菱(1996)使用该方法,利用华北山区气象站观测的温度与其所在纬度、经度和高度,分山区建立宏观地面气温场方程。采用 1:20 万地形图,以 $10'$ 经、纬度为步长,判读其高度值,代入已建立好的方程中,经地形项订正,推算华北山区的一些气温要素^[23]。顾卫(2002)统计了渤海和黄海北部沿岸及其邻近地区 52 个气象站 $\leq -4^\circ\text{C}$ 积温和日数的逐年资料,并根据 52 个气象站的气候指标值与经度、纬度、海拔高度的相关关系,建立空间分布方程,推算无资料海区中网格点的 $\leq -4^\circ\text{C}$ 积温和日数,绘制渤海和黄海北部地区 $\leq -4^\circ\text{C}$ 积温和日数分布图^[24]。

近年来,应用该方法的文献比较少,因为该方法要通过在地形图上绘制小网格来推算山区温度的空间分布,计算过程较繁琐,空间数据的分析功能也有限,而利用地理信息系统技术,可以容易地从数字高程模型中提取出任意大小表示地形因子的数字栅格,而且计算精度较高,对栅格数据进行空间统计分析的功能很强。

2.2.3 物候法、非线性相关法等其它方法

在函数相关法中,除了上述二种方法以外,物候法和非线性相关法等其它方法也被应用于山区气温的推算。例如,翁笃鸣等(1981)通过物候资料与气

温之间建立回归方程, 利用物候资料来估算气温^[25]。张福春(1984)通过物候指标进行山区的气候调查^[26]。文传甲(1989)考虑山区气温和影响它的因素之间的非线性关系进行山区气温的空间分布研究^[27]。陈万隆(1980)利用山区已有测站的资料, 采用三角形面积加权估算法来推算山区月平均气温^[28]。也有作者将主要地形因子细化为若干因子, 在它们和山区温度之间建立多元线性回归方程, 推算山区气温^[29, 30]。

目前, 随着计算机硬件和相关软件的不断发展, 上述主要方法在推算过程中存在一些不足, 如计算过程的繁琐、气候要素分布图制作的困难, 气候要素在空间上模拟的精度还较粗略等等。其中, 沈国权在提出回归余项法时, 利用计算机, 绘制出小网格分布图, 在气温分布图的表示非常直观, 在气温估算方面被广泛地使用, 可以认为是目前的地理信息系统技术应用于山区气温推算方面的雏形。

3 地理信息系统在山地气温研究中的应用

地理信息系统(Geography Information System, 简称 GIS)是以地理空间数据库为基础, 在计算机软硬件支持下, 对空间数据进行采集、管理、操作、分类、模拟、输出的空间信息系统^[31]。20 世纪 90 年代后期, 随着 GIS 技术的发展, 国内一些学者已开始将 GIS 技术应用于气温的定量评估分析, 提高了空间上模拟的精度, 简化了以往统计计算过程的繁琐, 在制作气温要素分布图时更加方便。本文对近年来国内在这方面的一些主要文献评述如下: (1) 进行山区气温推算时, 采用的地形图的比例尺大小由小到大, 从 1: 25 万^[34~39]到 1: 10 万^[41], 到 1: 5 万^[32, 40]。(2) 建立数字高程模型时, 采用的网格面积由大到小, 从 500 m × 500 m^[34, 37~39], 到 300 m × 300 m^[36], 到 250 m × 250 m^[41], 到 100 m × 100 m^[40], 到 30 m × 30 m^[35]。(3) 推算的气温要素增多, 从年平均气温^[32, 34, 37, 40]到月平均气温^[33, 35, 37, 39, 41], 到旬平均气温^[36], 到 ≥ 0 °C 积温^[37], 到 ≥ 10 °C 积温^[35~37], 到年极端最低气温^[35, 36], 到 10~20 °C 有效积温^[38]。(4) 考虑的影响因素增多, 从仅考虑海拔高度^[35~38, 40]到考虑海拔高度、经度和纬度^[32, 34, 39], 到考虑海拔高度、经度、纬度和直接太阳辐射^[33], 到考虑海拔高度、经度、纬度、坡度和坡向^[41]。(5) 山区气温推算

的应用范围扩大, 从水稻的农业气候区划^[38], 到小麦的农业气候区划^[39], 到经济林果的农业气候区划^[35, 36, 40], 到省综合农业气候区划^[34]。

地理信息系统技术是一种管理和处理地理空间数据的技术, 气温数据也是一种空间数据, 它的空间分布可以用地理空间数据来描述。但是, 气象站呈点状分布, 山区气象台站稀少, 要了解气象站以外的气候资源状况, 需要进行推算, 常规方法是进行内插。然而, 在对各气象站点的气温数据进行内插之前, 需从各气象站点现有的气温资料中找出一个函数关系式, 应用此关系式将山区气温推算到一定空间分辨率的细网格点上, 形成一个空间数据集。利用 GIS 空间分析模型来描述气温的空间分布规律, 这是地理信息系统应用于山地气温推算的基本思路, 与气候中常用的小网格法在思路上有些相同。然而, 使用 GIS 技术可以进行任意数值网格大小的快速生成, 特别是在提取坡度、坡向、遮蔽度等地形要素方面, 会大大减少以往统计计算过程的繁琐, 在制作气温空间分布图时更加方便, 可以提高空间上模拟的精度, 比常规网格法要好。

4 结束语

1. 自 20 世纪 70 年代中期以来, 在山区气温推算方面, 国内学者相继提出了一些统计模型, 有的统计模型至今仍在广泛使用, 而有的统计模型由于计算处理上较繁琐、计算量大等缺点现在很少使用。

2. 在本文所列举的山区气温推算方法中, 一切与气温相关甚好的气候要素(如积温等)均可选用, 分离综合法、物候法等在一定条件下仍可应用。

3. 沈国权等使用计算机, 通过地形小网格进行气温推算, 处理方法较简便, 推算效果较好, 在推算方法上, 与地理信息系统技术应用在气温推算上的方法比较相似, 可以认为是地理信息系统技术应用在气温推算上的雏形。

4. 20 世纪 90 年代后期, 地理信息系统技术开始被应用于山区气温的推算, 由于可以快速划分地形因子的数值网格大小, 大大减少了以往统计计算过程的繁琐, 制作气温空间分布图更加方便, 提高了气温模拟的空间分辨率。

5. 地理信息系统技术虽然可以大大减少以往推算山区气温时的工作量, 但是, 目前关于山区气温的推算仍然离不开常规的统计模型, 因此, 只有将地

理信息系统技术和适当的山区气温推算模型相结合,才能从根本上提高山区气温模拟的精度。

6. 同样利用地理信息系统技术可以对山区的降水、日照等气候要素进行推算,并将多要素的气候空间数据汇集起来,应用数理统计方法或空间数据的叠置分析功能,形成区域性的资源分布图,实现农业气候综合评价,进行农业气候区划。

参考文献(References):

- [1] Weng Duming, Luo Zhexion. Topographical climate in mountainous areas[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1990. 1~ 10. [翁笃鸣, 罗哲贤. 山区地形气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990. 1~ 10.]
- [2] Fu Baopu, Yu Jingming, Lu Qiyao. Climate sources, development and utilization in mountainous areas[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1996. 165~ 179. [傅抱璞, 虞静明, 卢其尧. 山地气候资源与开发利用[M]. 南京: 南京大学出版社, 1996. 165~ 179.]
- [3] Li Zhilin, Zhu Qing. Digital elevation model[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001. 1~ 10. [李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001. 1~ 10.]
- [4] Luo Lun. A method of calculating the mean temperature in data-lacking regions[J]. *Meteorological Monthly*, 1978, (2): 31~ 32. [罗伦. 无测站地方平均气温的推求方法[J]. 气象, 1978, (2): 31~ 32.]
- [5] Liang Jing, Zhu Jialong. A method of estimating thermal resources in mountainous areas[J]. *Meteorological Monthly*, 1981, (10): 24~ 25. [梁敬, 朱家龙. 山区热量资源的估算方法[J]. 气象, 1981, (10): 24~ 25.]
- [6] Fu Baopu. The calculation of climatic elements in mountainous areas [A]. Collected papers on mountain climate[C]. Beijing: China Meteorological Press, 1984. 23~ 34. [傅抱璞. 关于山地气候资料的推算问题[A]. 山地气候文集[C]. 北京: 气象出版社, 1984. 23~ 34.]
- [7] Ni Guoyu, Zhou Liyan. A preliminary analysis of calculating the thermal condition over data-lacking regions with the separating-synthesizing method[A]. In: Collected papers on mountain climate[C]. Beijing: China Meteorological Press, 1984. 35~ 39. [倪国裕, 周立炎. 浅谈分离综合法推算无资料区的热量状况[A]. 见: 山地气候文集[C]. 北京: 气象出版社, 1984. 35~ 39.]
- [8] Chen Shulin. A method of calculating the thermal condition and the first/latest frost day in the Taihang Mountains [A]. In: Collected papers on mountain climate[C]. Beijing: China Meteorological Press, 1984. 42~ 44. [陈树林. 太行山热量及霜冻初终期推算方法[A]. 见: 山地气候文集[C]. 北京: 气象出版社, 1984. 42~ 44.]
- [9] Weng Duming. The microclimatic analysis of ditch, ridge, sloping field in mountainous areas[J]. *Journal of Nanjing Institute of meteorology*, 1978, (1): 68~ 80. [翁笃鸣. 大寨大队沟、梁、坡地的小气候分析[J]. 南京气象学报, 1978, (1): 68~ 80.]
- [10] Lu Qiyao. A method of calculating the monthly and annual mean temperatures in mountainous area[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1988, 45(3): 213~ 222. [卢其尧. 山区年月平均气温推算方法的研究[J]. 地理学报, 1988, 45(3): 213~ 222.]
- [11] Lu Qiyao, Fu Baopu, Yu Jingming. The methods calculating the spatial distribution of agroclimatic resources in mountainous areas and climatic effects of microtopography[J]. *Journal of Natural Resources*, 1988, 3(2): 101~ 112. [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]. 自然资源学报, 1988, 3(2): 101~ 112.]
- [12] Yu Jingning, Zhan Xingpan, Zhang Yiping. Determination of the effects of microtopography of temperature and humidity in mountain regions[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1988, 43(2): 224~ 231. [虞静明, 詹兴伴, 张宜平. 山区小地形对温湿度影响的确 定[J]. 地理学报, 1988, 43(2): 224~ 231.]
- [13] Shen Guoquan. A practical method for analyzing fine grid temperature field in view of macroscopic orography[J]. *Meteorological Monthly*, 1984, (6): 22~ 27. [沈国权. 考虑宏观地形的小网格温度场分析方法及应用[J]. 气象, 1984, (6): 22~ 27.]
- [14] Guo Kang. Drawing isotherms in mountainous region with grid method[J]. *Meteorological Monthly*, 1982, (3): 22~ 23. [郭康. 用网格法编制山区热量等值线图[J]. 气象, 1982, (3): 22~ 23.]
- [15] Yuan Yuzhi. A method of estimating thermal resources in mountainous areas[J]. *Meteorological Monthly*, 1982, (6): 31. [袁育枝. 山地热量资源的宏观估算方法[J]. 气象, 1982, (6): 31.]
- [16] Ni Guoyu, Yang Jingan, Liu Kequn, et al. The climatic characteristics of the ShenNongJia mountain[A]. In: Collected papers on agroclimatic resources of mountainous areas in the Subtropics of China[C]. Beijing: China Meteorological Press, 1988. 89~ 96. [倪国裕, 杨荆安, 刘可群, 等. 神农架山地的若干气候特征[A]. 见: 亚热带丘陵山区农业气候资源研究论文集[C]. 北京: 气象出版社, 1988. 89~ 96.]
- [17] Wang Shanxian, Xiang Mingmei, Su Shiqing. A study on the distribution of winter temperature field and the suitable area for growing citrus in Susong county, Anhui province[A]. Collected papers on agroclimatic resources of mountainous areas in the Subtropics of China[C]. Beijing: China Meteorological Press, 1988. 162~ 167. [王善型, 项明眉, 苏士勤. 安徽宿松县冬季温度场分布与柑桔适生区的探讨[A]. 亚热带丘陵山区农业气候资源研究论文集[C]. 北京: 气象出版社, 1988. 162~ 167.]
- [18] Wang Shanxian, Bao Zhengqing, Wang Xiangwen, et al. A study on the distribution of fine-mesh winter temperature field and the suitable area for growing citrus in Xi county, Anhui province[A]. Collected papers on agroclimatic resources of Dabie Mountains [C]. Beijing: China Meteorological Press, 1989. 213~ 222. [王善型, 包正擎, 王相文, 等. 安徽省歙县冬季温度场小网格分布及柑桔适生区探讨[A]. 大别山区农业气候资源论文集[C]. 北京: 气象出版社, 1989. 213~ 222.]
- [19] Zhang Yangcai, Tan Kaiyan. Studies on the structure of the earth surface temperature and utilization of agroclimatic resources in the QinLin-DaBa mountains[A]. Collected papers on agroclimatic re-

- sources of mountainous areas in the Subtropics of China[C]. Beijing: China Meteorological Press, 1988. 54~ 60. [张养才, 谭凯炎. 秦巴山区地面温度场结构与农业气候资源利用的研究[A]. 亚热带丘陵山区农业气候资源研究论文集[C]. 北京: 气象出版社, 1988. 54~ 60.]
- [20] Yin Jianmin. An analysis and application of the fine-mesh thermal resource charts of Jiangxi province[A]. Collected papers on agroclimatic resources of mountainous areas in the Subtropics of China [C]. Beijing: China Meteorological Press, 1988. 110~ 114. [殷剑敏. 江西省小网格热量资源图的分析与应用[A]. 亚热带丘陵山区农业气候资源研究论文集[C]. 北京: 气象出版社, 1988. 110~ 114.]
- [21] Jiang Xiaoquan, Lu Daxin, Xu Pengwei, *et al.* The distribution of mesoscale thermal resources and application on the agroclimatic classification in Zhejiang province[A]. Collected papers on agroclimatic resources of mountainous areas in the Subtropics of China [C]. Beijing: China Meteorological Press, 1988. 115~ 121. [姜效泉, 陆大鑫, 徐鹏伟, 等. 浙江省中尺度热量资源的空间分布及其在农业气候区划中的应用[A]. 亚热带丘陵山区农业气候资源研究论文集[C]. 北京: 气象出版社, 1988. 115~ 121.]
- [22] The research division for agrometeorology of the Meteorological Bureau of Guangdong province. Computations and analyses of the fine-mesh temperature fields for Guangdong province[A]. Collected papers on agroclimatic resources of mountainous areas in the Subtropics of China[C]. Beijing: China Meteorological Press, 1988. 141~ 144. [广东省气象局农业气象研究室. 广东省小网格温度场计算与分析[A]. 亚热带丘陵山区农业气候资源研究论文集[C]. 北京: 气象出版社, 1988. 141~ 144.]
- [23] Wang Ling. The temperature calculation model for the mountainous areas in north China and its application[J]. *Journal of Natural Resources*, 1996, **11**(2): 150~ 156. [王菱. 华北山区温度推算模式和应用[J]. 自然资源学报, 1996, **11**(2): 150~ 156.]
- [24] Gu Wei, Shi Peijun, Liu Yang, *et al.* The characteristics of temporal and spatial distribution of negative accumulated temperature in Bohai sea and north Yellow sea[J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, **17**(2): 168~ 173. [顾卫, 史培军, 刘杨, 等. 渤海和黄海北部地区负积温资源的时空分布特征[J]. 自然资源学报, 2002, **17**(2): 168~ 173.]
- [25] Wen Duming, Chen Wanlong, Shen Juecheng, *et al.* Microclimate and agrodimate[M]. Beijing: Agriculture Press, 1981. 314~ 315. [翁鸣鸣, 陈万隆, 沈觉成, 等. 小气候和农田小气候[M]. 北京: 农业出版社, 1981. 314~ 315.]
- [26] Zhang Fuchun. The application of the phenological indices to mountain climate survey[A]. Collected papers on mountain climate [C]. Beijing: China Meteorological Press, 1984. 55~ 62. [张福春. 在山区气候调查中物候指标的应用[A]. 山地气候文集[C]. 北京: 气象出版社, 1984. 55~ 62.]
- [27] Wen Chuanjia. The distribution and regulation on temperature variation in Hengduan mountains[A]. Collected papers on Hengduan mountains[C]. Chengdu: Sichuan Scientific & Technical Press, 1989. 66~ 74. [文传甲. 横断山地区温度的分布与变化规律[A]. 横断山研究文集[C]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989. 66~ 74.]
- [28] Chen Wanlong. The method of mean temperature assessment in mountain area[J]. *Meteorological Monthly*, 1980, (6): 2~ 4. [陈万隆. 山区平均温度的估算方法[J]. 气象, 1980, (6): 2~ 4.]
- [29] Jiao Chunfu, Zeng Guangshan, Liu Yilan, *et al.* Studies on the thermal resources of 1km² fine grid in Guiyang region[J]. *Journal of Guizhou Meteorology*, 1995, (5): 3~ 9. [矫春甫, 曾光善, 刘益兰, 等. 贵阳地区 1km² 细网格热量资源研究报告[J]. 贵州气象, 1995, (5): 3~ 9.]
- [30] Liu Yilan. Computations and analyses of the fine-mesh temperature fields for Guizhou province[J]. *Journal of Guizhou Meteorology*, 1998, (3): 9~ 12. [刘益兰. 贵州省小网格温度场的计算与分析[J]. 贵州气象, 1998, (3): 9~ 12.]
- [31] Huang Xingyuan, Ma Jinsong, Tang Qin. Principles of geography information system[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. 1~ 5. [黄杏元, 马劲松, 汤勤. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版, 2001. 1~ 5.]
- [32] Shi Zhou, Wang Renchao, Wu Honghai. GIS-based simulating and mapping of annual mean temperature in mountain area[J]. *Mountain Research*, 1997, **15**(4): 264~ 268. [史舟, 王人潮, 吴宏海. 基于 GIS 的山区年均温分布模拟与制图[J]. 山地研究, 1997, **15**(4): 264~ 268.]
- [33] Chen Xiaofeng, Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, *et al.* Using GIS to establish temperature distribution model in mountain area[J]. *Journal of Image and Graphics*, 1998, **3**(3): 234~ 238. [陈晓峰, 刘纪远, 张增祥, 等. 利用 GIS 方法建立山区温度分布模型[J]. 中国图象图形学报, 1998, **3**(3): 234~ 238.]
- [34] Guo Zhaoxia, Zhu Lin, Ye Dianxiu, *et al.* The application of GIS to the analysis of climatologic resources and the agri-climatological zoning[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2000, **30**(4): 357~ 359. [郭兆夏, 朱琳, 叶殿秀, 等. GIS 在气候资源分析及农业气候区划中的应用[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2000, **30**(4): 357~ 359.]
- [35] Huang Shue, Yin Jianmin, Wang Huaqing. Application of "3S" technology in agricultural climate division at county level—climatic synthesis division of Navel-orange planting in Wanan county[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2001, **22**(4): 40~ 42. [黄淑娥, 殷剑敏, 王怀清. "3S" 技术在县级农业气候区划中的应用——万安县脐橙种植综合气候区划[J]. 中国农业气象, 2001, **22**(4): 40~ 42.]
- [36] Su Yongxiu, Li Zheng. Agricultural climatic regionalization supported by GIS for mango planting[J]. *Journal of Guangxi Meteorology*, 2002, **23**(1): 46~ 48. [苏永秀, 李政. GIS 支持下的芒果种植农业气候区划[J]. 广西气象, 2002, **23**(1): 46~ 48.]
- [37] Li Zheng, Su Yongxiu. Application of CITYSTAR to the analysis of agricultural climatic resources in Baise region[J]. *Journal of Guangxi Meteorology*, 2002, **23**(2): 29~ 31. [李政, 苏永秀. CITYSTAR 在百色地区农业气候资源分析中的运用[J]. 广西气象, 2002, **23**(2): 29~ 31.]
- [38] Wei Li, Yin Jianmin, Wang Huaqing. Climate division of high quality early rice planting area in Jiangxi province on the basis of GIS[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2002, **23**(2): 27~

31. [魏丽, 殷剑敏, 王怀清. GIS 支持下的江西省优质早稻种植气候区划[J]. 中国农业气象, 2002, **23**(2): 27~ 31.]
- [39] Wu Hongyan, Huang Yuhua, Tian Xinru. Climate analysis of winter wheat in Xuzhou district on GIS based[J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2002, (3): 362~ 366. [吴洪颜, 黄毓华, 田心如. 基于 GIS 的徐州地区冬小麦气候分析[J]. 气象科学, 2002, (3): 362~ 366.]
- [40] Lihong, Sun Danfeng, Zhang Fengrong, *et al.* Suitability evaluation of fruit trees in Beijing western mountain areas based on DEM and GIS[J]. *Transaction of the CSAE*, 2002, **18**(3): 250~ 254.
- [41] Zhang Hongliang, Ni Shaoxiang, DENG Ziwang, *et al.* A method of spatial simulating of temperature based Digital Elevation Model (DEM) in mountain area[J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, **20**(3): 360~ 364. [张洪亮, 倪绍祥, 邓自旺, 等. 基于 DEM 的山区气温空间模拟方法[J]. 山地学报, 2002, **20**(3): 360~ 364.]

Review on Methods in Simulating Spatial Distribution of Temperature in Mountains

LI Jun, HUANG Jingfeng

(Resource and Environment College, Institute of Agricultural Remote Sensing and Information Technology, Zhejiang University, Hangzhou, 310029, China)

Abstract: Simulating spatial distribution of mountain temperature is important in the mountain climate studies. It has great significance for effectively using climate resource in mountain area. This paper reviewed some simulating methods that are representative in China. The application of Geography Information System technology was also analysed.

Key words: mountain temperature, spatial distribution, simulating methods, Geography Information System, Digital Elevation Model