# MTCLIM 模型日平均温度调和系数获得算法的改进

杨振林[1,2], 石培礼[1,*], 闫 巍[1,2], 徐玲玲[1,2]

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要**: MTCLIM 模型对日平均温度的模拟结果是基于日平均温度调和系数 (TEMCF) 的值, 而国内外目前对该系数的估计多直接基于简单的最小二乘法进行该系数的本地化, 我国学者的相关工作多直接引用原模型在北美干旱气候条件的测定默认值, 因而往往造成模拟结果误差较大。首次提出了根据不同水热条件的影响确定 TEMCF 值的方法, 大大改善了最后模拟结果的精度。以长白山地区为例, 通过对我国典型山地条件下日平均温度的推算方法的对比, 对不同水热条件下 MTCLIM 模型日平均温度调和系数的获得算法进行了验证。结果证明不同水热条件对该模型日平均温度估算算法中 TEMCF 的值有较大的影响。随着降水量的增加和日照时间的缩短, TEMCF 的取值呈减小趋势, 这也解释了原 MTCLIM 模型在我国山地地区的应用研究的结果中较大时空差异性的原因。通过不同水分和热量等级下的模拟结果表明, 将 TEMCF 值根据水热条件情况分别模拟日平均气温将能够大大改善 MTCLIM 模型在典型山地地区中的模拟结果, 从而为山地地区的研究工作提供更准确的基础性参考资料。

**关键词**: MTCLIM 模型; 日平均温度调和系数; 山地地区; 长白山

**文章编号**: 1000-0933 (2007) 06-2403-07 **中图分类号**: P463, Q141 **文献标识码**: A

# Improvement of algorithm for TEMCF in evaluation of daily mean temperature in mountainous districts

YANG Zhen-Lin[1,2], SHI Pei-Li[1,*], YAN Wei[1,2], XU Ling-Ling[1,2]

1 *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*

2 *Graduate university of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 10039, *China*

***Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (6): 2403 ~ 2409.**

**Abstract**: This paper aims at the improvement of algorithms for the daily mean temperature in the mountainous districts. The modeling results of the daily temperature in the MTCLIM model strongly rely on the parameter (coefficient to adjust daylight average temperature). Most previous works concerning the TEMCF (coefficient to adjust daylight average temperature) used the default value 0.45 measured in the Northern America or the simple sine weighed average method, often resulting in great errors in the final model results. To evaluate the influences of heat and moisture on the TEMCF and the variant daily temperature of the mountainous districts, an improved method is proposed to evaluate the daily mean temperature under different moisture and heat gradients. In a case study in the Changbai Mountain, we find different moisture and heat conditions that have strong effects on the value of the TEMCF. TEMCF tends to decrease with daily precipitation quantity increasing and day length decreasing. And the results explain the reason of great errors in the past work concerning the MTLCIM model in China. Compared to the previous works, the method proposed here provides a

**基金项目**: 国家自然科学基金资助项目 (30370257); 中国科学院地理科学资源研究所创新前沿资助项目 (CXIOG-C05-01)

**收稿日期**: 2006-06-08; **修订日期**: 2006-11-29

**作者简介**: 杨振林 (983 ~), 男, 江西玉山人, 硕士, 主要从事生态学研究. E-mail: zhenlinyoung@gmail.com

* **通讯作者** Corresponding author. E-mail: shipl@igsnrr.ac.cn

**Foundation item**: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30370257) and the Knowledge Innovation Program from Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (No. CXIOG-C05-01)

**Received date**: 2006-06-08; **Accepted date**: 2006-11-29

**Biography**: YANG Zhen-Lin, Master candidate, mainly engaged in ecology. E-mail: zhenlinyoung@gmail.com

possibility to improve the modeling result of the daily temperature variance in the mountainous districts by the different moisture and heat conditions. It can be an important reference to the future works in the field.

**Key Words**: MTCLIM model; coefficient to adjust daylight average temperature; mountainous districts; Changbai Mountain

土壤-植被-大气之间的耦合关系是生态学的热点问题,大量的生态学模型被提出用以模拟三者之间的生理生态过程。然而近年来的研究证明,这些模型在山区的运用都遇到了较多的适用性问题。在我国绝大多数的山区,由于特殊的地理条件和观测设施稀缺,气象资料如太阳辐射、温度和湿度等气象要素的直接观测值的缺乏,而低地获得的气候资料又不能简单地演绎到山地高海拔地区。因而在平原地区理想条件下建立的生理生态模型在运用到山地时,输入的生态环境参数需要作必要的修正。

山地小气候模拟模型(Mountain Microclimate Simulation Model,简称 MTCLIM 模型)是一个常用的气象要素资料外推工具,能够根据已有的常见气象资料对不同地区未知气象要素进行时间和空间上的推算,在国外已经有相当多的研究。1987 年 Running 首次提出 MTCLIM 模型,并在空间递推上取得了关于日入射短波辐射、日平均温度、湿度、降雨量的初步推算结果[1];随后 Hungerford 概括了 MTCLIM 模型建立的逻辑原则[2];1999 年 Thorton 和 Running 进一步完善了辐射的计算,将山地透射率与温差的关系重新拟合[3];2000 年 Thorton 进一步考虑了山地条件下辐射的优化算法[4]。在国内,关于 MTCLIM 模型的研究工作涉及较少,目前只有张娜[5]在长白山简单应用了该模型为景观尺度的生产力过程模型(EPPML)获取气象数据,但对模型未做任何讨论与建议。李海涛[6,7]等人应用此模型在南方典型平原地区做过研究,并对该模型涉及到的多个参数根据南方平原的气候条件进行了改进,其 TEMCF 值的获得算法仅基于全年气象数据的加权平均得到唯一估计值 -0.011;刘丽娟[8]等人在岷江上游地区对此模型作了应用性研究,其 TEMCF 值则使用了北美洲默认数据 0.45。然而 MTCLIM 模型从建立者的初衷来讲,仍然主要是一个服务于山地地区的模型[3]。因而如何将该模型在我国山地地区进行本地化研究,使其能够更好的服务于科研工作,具有重要的现实意义。

MTCLIM 模型中的一个重要输出结果就是对日平均温度的估计。该模型的估计方法是基于重要参数 TEMCF(coefficient to adjust daylight average temperature)的值,国内外目前的研究多直接基于研究区域气象数据最小二乘法的简单模拟,在不同气候条件下的 TEMCF 的变化趋势的研究工作鲜有发表[9]。然而山区小气候的一个重要特点就是复杂多变的天气及不均匀分布的水热条件。水热条件对日温度的变化规律有着非常明显的影响,因而形成了广泛存在的局部气候。杨美华[10]等经过实地调查发现在不同局部气候影响下,长白山北坡气温垂直变化呈现出不同趋向性的下降。而不同山地地区之间降水量及日照辐射的差异往往使得日气温变化差异明显,因而在模拟山地地区温度变化趋势时,降水量和日照辐射的影响是非常重要的因素。MTCLIM 模型在建立日平均温度、日最高温度、日最低温度的关系时,没有考虑水热条件对三者之间关系的影响,简单的将典型北美洲干旱气候条件下的测定结果默认为各地适用的参数。

本文以长白山地区为例,使用山地微气候模型 MTCLIM 模型对长白山典型阔叶红松林日平均气温进行推算,同时通过不同水分和热量等级下的日气温变化趋势分别对日平均温度的算法进行改进。试图揭示山地气候条件下常见气候参数——日平均温度调和系数 TEMCF 值在不同水热条件的变化规律,并基于该变化机制提出日平均温度的改进算法。

## 1 研究方法

### 1.1 自然概况:

长白山自然保护区位于吉林省的东南部,包括长白山天池北、西、西南三面原始森林的心脏地区,地跨延边、通化两个地区的安图、抚松和长白 3 个县,东南部与朝鲜毗邻,自然地理位置为东经 127°42′55″~128°16′48″,北纬 41°41′49″~42°25′18″。1981 年调整后的总面积为 190,582hm$^2$[5]。

### 1.2 数据来源

本文资料来自于中国科学院生态系统研究网络(CERN)长白山森林生态系统定位站气象观测场地面常

规气象资料。定位站气象观测场位于 42°24′N、128°6′E ,海拔 738 m。观测场四周 20m 距离内天然林保持在 2 m 以下,四周为大范围的天然阔叶红松林。经过筛选,选取 1995 年,1998 年,2001 ~2004 年共 6a 气象数据作为分析使用,选取的气象数据均为连续数据,且经过验证,可信度较高。

本研究使用的气候要素有日最高温度($T_{max}$)、日最低温度($T_{min}$)、基于数学平均算法的日平均温度($T_{mean}$)、日降水量、日日照时数。

将 1995 年长白山气象观测场气候资料根据水分典型因子——降水量及热量典型因子——日照时间的大小将气候数据划分为多个水分和热量等级如下:

水分等级　降水量($PPT$) = 0mm、0.1 < 降水量 < 5 mm、5 < 降水量 < 10 mm、降水量 > 10mm 4 个等级。

热量等级　日照时间 > 20000s;15000s < 日照时间 < 20000s;日照时间 < 15000s。

### 1.3　日平均温度计算的理论基础

#### 1.3.1　日平均温度正弦算法理论基础

日平均温度的计算有很多的模拟方法,有简单的数学平均,有常用的傅立叶分析,以及基于 GIS 的模拟[1~15]。Van Engelen 和 Geurts 提出了日温度变化趋势的指数曲线[6],Ephrath 将其进行发展,并将风速,辐射考虑到其模型中[9]。目前广泛应用在气象学研究中的日平均温度基于简单的数学平均算法,其日平均温度的计算方法为每日 2:00、8:00、14:00、20:00 时 4 个时间点的日温度简单平均,即:

$$T_{ave} = (T_2 + T_8 + T_{14} + T_{20})/4 \quad (1)$$

MTCLIM 模型假设气温的日变化趋势呈正弦曲线变化,最低气温发生在日出之前,最高温度出现在 14:00。

1981 年,Parton 和 Logan 建立了用日最高温度与最低温度的正弦加权平均来计算当日的平均气温的方程:

$$T_{ave} = \mathrm{TEMCF}\ (T_{max} - T_{mean}) + T_{mean} \quad (2)$$

式中,$T_{ave}$为正弦加权平均气温;$T_{mean}$为数学平均气温,$T_{mean} = 1/2 \times (T_{max} + T_{min})$;TEMCF 为日平均气温的调和系数。

Parton 和 Logan[7]运用每小时实测温度值来对日均温进行估算并与正弦加权所得日均温值进行比较,证明了正弦加权平均的优越性。

但是关于日平均气温调和系数值的影响因子及其变化规律一直没有更深入的研究,其估算方法也没有得到较好的解决。目前大多根据以往资料使用最小二乘法的加权平均进行估计[6,7]。

#### 1.3.2　改进算法理论基础

原有 MTCLIM 模型对日平均温度的算法将日温度变化趋势模拟为一条正弦曲线。然而降水对全天日温度变化趋势的最明显影响是由于云层遮挡、空气湿度的增加和日照时间的减少使得山地温度迅速下降,使得温度变化趋势偏离正弦曲线,图 1 所示为一次理想状态下的降雨过程对日温度变化的影响。

日平均温度的值的数学意义为图 1 中正弦曲线与 $x$ 轴的面积绝对值除以每日时间,如下式:

$$T_{ave} = \int_0^{24} T/24 \quad (3)$$

如图 1,假设在一次降水的影响下,日温度变化曲线由图中所示空心曲线移到了实心曲线。实心曲线与 $x$ 轴构成的区域的面积绝对值显然小于原空心曲线。

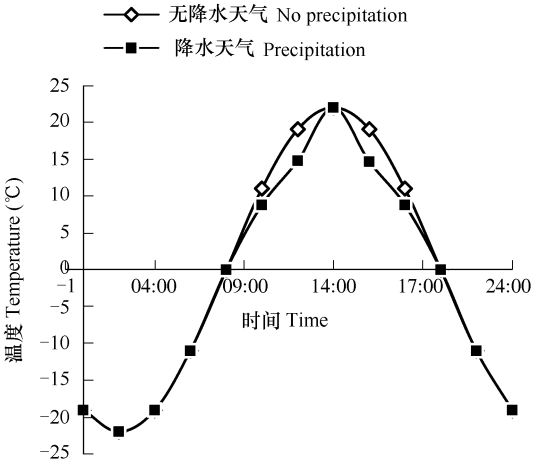


图 1　典型降水过程对日温度变化的影响示意图

Fig. 1　The day temperature variations under representative precipitations

因而,在不考虑降水情况下,正弦算法对日均温的估计值要高于实际日平均温度。即式(2)对日均温的估计值偏高。不同的降雨量对温度变化幅度有非常强烈的影响。因而在不同降水量下重新估计 TEMCF 值将能够在很大程度上改进 MTCLIM 模型对日平均温度的估算。

根据日温度变化趋势为近似正弦曲线的理论,推导不同水热条件对 TEMCF 值的影响;按照日平均温度的正弦算法,使用最小二乘法得到不同水分和热量等级下 TEMCF 的估计值做出日平均温度与日最高温度,日最低温度的非线性回归曲线。所用统计分析软件为 spss13.0。

## 2 结果分析

### 2.1 降水量对 TEMCF 值的影响

1995 年长白山日均温非线性回归的模拟结果证明,TEMCF 的大小与降水量密切相关(表 1)。采用全年天气数据推算得到的 TEMCF 为 0.012,而使用降水量为 0 的天气数据分析结果 TEMCF 为 0.028,进一步分析降水天气时($0\ mm < PPT$),TEMCF 为 -0.023,差异显著。随着降水量增大时,TEMCF 的变小趋势更加明显。抽取日降水量($PPT$):$0\ mm < PPT < 5\ mm$ 的天气进行分析,TEMCF 值为 0.002。选择降水量($5\ mm < PPT < 10\ mm$)的天气进行分析,其 TEMCF 值为 -0.011。而 $PPT > 10\ mm$ 的天气条件下,TEMCF 值降低到 -0.175。李海涛等在南昌、韶关等四地的测量结果证明 TEMCF 值均小于 0,这与南方的多雨天气有关。因为所选取的四地年均降水量均在 1200mm 以上,而其数学意义即为日均值与日最低温度的相关程度更高,因而在该研究区域中使用数学平均法得到的日平均温度普遍偏高[7]。而长白山年平均降水量在 700mm 以下,近年来呈下降趋势,TEMCF 值较高。美国科洛拉多州年降水量在 300mm 左右,其 TEMCF 估计值为 0.212[8],模型的建立地北洛基山位于高纬度干旱地区,降水量较小,因而其 TEMCF 的估计值达到 0.45。综合以上各地的研究结果可以看出,降水量的变化趋势与 TEMCF 值的变化趋势基本吻合,即随降水量增多,TEMCF 降低。降水量的情况反映了天气情况,和大气辐射直接相关,较小的 TEMCF 值表明日出后温度升高较为缓慢,因而其峰也较为狭窄。而较大的 TEMCF 值表明日出后温度升高迅速,因而模拟正弦函数波峰较宽。

TEMCF 为负值,即平均温度与日最低温度相关更大;TEMCF 为正值,即平均温度与日最高温度相关更大。按照日气温变化的正弦变化理论,在不同降水情况下,日最高温度和最低温度形成的波峰与波谷的相对大小预测了日平均温度与最高温度或最低温度的相关性。

### 2.2 日照时间对 TEMCF 的影响

抽取不同日照时间等级下的天气模拟结果说明,随着日照时间的增加,TEMCF 的值有增加的趋势(表 2)。采用全年天气数据推算得到 TEMCF 为 0.012,而按照不同日照时间等级进行分析,日照时间小于 15000 时,TEMCF 值为 -0.048,抽取日照时间介于 15000s ~ 20000s 的天气分析时,发现 TEMCF 值达到 -0.006,差异非常显著,在日照时间 >20000s 的天气 TEMCF 达到 0.031(表 2)。这表明随着日照时间增加,TEMCF 的值不断升高,日照时间越长,波峰越宽,因而全天的日平均温度与日最高温度相关性更大,即 TEMCF 值更大;日照时间越短,全天温度上升的时间较短,波峰越窄,因而 TEMCF 值更小。

表 1 长白山地区不同水分条件下 TEMCF 的估计值

Table 1 The estimates of TEMCF under different moisture conditions in the Changbai Mountain

| 降水情况 Precipitation (mm) | 估计值 Estimated value | 标准差 Residues | 95% 置信区间 confidence interval | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Lower bound | Upper bound |
| 0 | 0.028 | 0.005 | 0.018 | 0.038 |
| 0 ~ 5 | 0.002 | 0.001 | 0 | 0.004 |
| 5 ~ 10 | -0.011 | 0.003 | -0.017 | -0.005 |
| >10 | -0.175 | 0.051 | -0.281 | -0.070 |

表 2 长白山地区不同热量条件下 TEMCF 的估计值

Table 2 The estimates of TEMCF under different radiation conditions in the Changbai Mountain

| 日照时间 Day length (s) | TEMCF 估计值 Estimated value of TEMCF | 标准差 Residues | 95% 置信区间 confidence interval | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Lower bound | Upper bound |
| 0 ~ 15000 | -0.048 | 0.020 | -0.087 | -0.009 |
| 15000 ~ 20000 | -0.006 | 0.029 | -0.066 | 0.053 |
| > 20000 | 0.031 | 0.011 | 0.009 | 0.054 |

### 2.3　模拟结果的验证

运用下述 4 种 TEMCF 的算法计算 1998,2000 ~ 2004 年日均温数据,并以基于数学平均的日平均温度实测值进行检验:

第 1 种　使用原 MTCLIM 模型默认值 0.45 进行模拟(Default value Method,以下简称为 DM);

第 2 种　使用 1995 年不同水分梯度下 TEMCF 估计值进行模拟(Moisture gradient Method,以下简称为 MM);

第 3 种　使用 1995 年不同热量梯度下 TEMCF 估计值进行模拟(Heat gradient Method,以下简称为 HM);

第 4 种　使用 1995 年全年气象数据和最小二乘法得到的 TEMCF 估计值 0.012 进行加权平均(Sine weighed Method,以下简称为 SM)。

计算 4 种模拟结果与基于数学平均算法的日平均温度的相关系数矩阵,4 种算法的最后结果与最后的日平均温度实测值均明显相关。但从各种算法按月份输出的日均温误差分析来看,本研究中经过改进后的 MM 算法,HM 算法对日均温的估计值比原模型中 DM 算法对日均温的估计值要明显优越(图 2)。原 MTCLIM 模型对日平均温度的模拟结果中,最大误差达到了 3.93℃,平均误差在 3.5℃以上,大部分日均温估计值都明显比实测温度高。而使用 MM 算法和 HM 梯度算法下,日平均温度的估计值与实测值的误差在 0℃左右浮动,最大误差均没有超过 1℃,平均误差接近于 0℃。

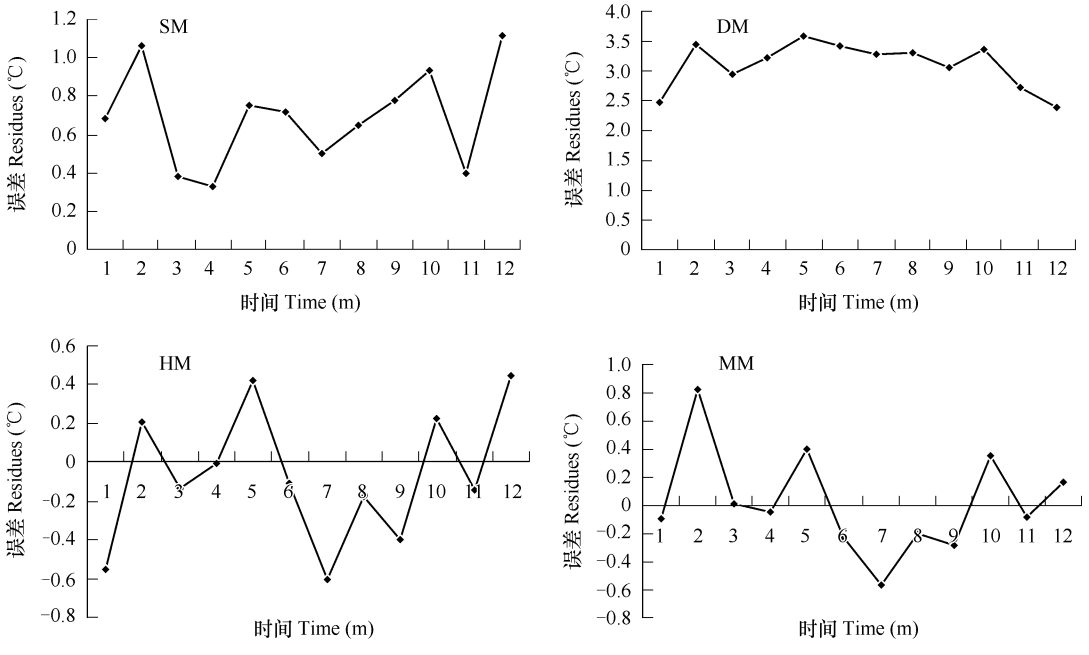


图 2　不同算法下日平均温度的误差比较

Fig. 2　The comparison of errors under different algorithms of the daily average temperature

分别对各个算法对日平均温度的模拟结果作线性回归(表 3),可以得出各曲线的回归系数 $R^2$ 都达到了 0.98 以上,但使用原 MTCLIM 方法对日平均温度的实测值的回归截距最大,达到了 -3.1℃,说明使用 MTCLIM 模型得到的估计值要比实测值偏高,加权平均法得到的回归曲线截距有了较大改进,但仍然达到了 -0.5℃,说明其估计值要大于实际测量值 0.5℃左右。而使用根据 MM 和 HM 算法得到的回归曲线的截距均小于 0.1,说明其对日平均温度的估计效果较好,而 MM 算法和 HM 算法都要优于 DM 算法和 SM 算法。

## 3　讨论

MTCLIM 模型是一个广泛应用在山地地区的微气候模拟模型,其对山地地区气温变化的模拟是基于日温

度变化趋势为正弦变化的假设。而其对日平均温度的预测结果又在很大程度上依赖于日平均温度调和系数(TEMCF)的大小。原模型中对该系数的预估默认为基于典型北美洲高纬度干旱气候条件下的测定结果0.45。国外对日平均温度的计算提出了较多的参考模型,但在山地地区的运用中都遇到了复杂气候条件的影响的问题,因而在模型推广过程中往往不能得到理想结果[5]。相关工作已经证明考虑山地多变的气候因素如辐射,风对日温度的影响将能改进对日平均温度的模拟[6]。以往的工作也证明虽然MTCLIM模型对日平均温度的模拟结果与实际测定结果存在着较好相关,但该模型在我国山地地区的模拟结果与实际测定值仍然存在着较大的误差[6,7]。因而TEMCF值的本地化工作将能够大大改善山地地区日平均温度模拟结果的质量。由于我国山地地理及气候条件的复杂多变,而不同水热条件对日温度变化有着很大的影响,因而关于在山地地区不同水热条件下TEMCF值的变化规律的探索工作将有利于MTCLIM模型未来在我国山地地区的应用。

表3 不同日平均温度算法与数学平均算法日平均温度的线性回归结果

Table 3 The Linear regression results of the daily average temperature under different algorithms

| | 截距 Intercept | 斜率 Slope | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| DM 算法 | -3.1 | 1.0039 | 0.9856 |
| MM 算法 | -0.02 | 0.9995 | 0.9892 |
| HM 算法 | 0.09 | 0.9948 | 0.9887 |
| SM 算法 | -0.5 | 0.9965 | 0.9886 |

本研究证明,不同水热条件下,TEMCF的值不尽相同。其值随降水的增加和日照的减少,呈现出不断减小的趋势。以长白山为例,分析日降水量为0,0~5mm,5~10mm,10mm以上4个不同水分条件天气,TEMCF值从0.028下降到-0.0175。而不同热量条件天气下的TEMCF值也呈同样趋势,当日照时间从20000s以上下降到15000s以下时,TEMCF估计值从0.031下降到-0.048。因而在我国山地地区中使用MTCLIM模型进行气象要素推算时,必须对其取值进行本地化改进。模拟结果证明,通过对不同水热条件等级下的TEMCF值的估算算法对日平均温度进行模拟,可以大大改进最后日均温的模拟结果并较好控制最后的模拟误差。这对于我国山地地区日均温要素的估计具有重要意义。但由于相关数据的长期缺失导致了本研究中降雪对TEMCF的值的影响难以估计,因而更精确的关于水热条件与TEMCF值的关系应是未来工作的研究方向。

**References:**


[1] Running S W, Nemani R R, Hungerford R D. Extrapolation of meteorological data in mountain terrain, and its use for simulating forest evapotranspiration and photosynthesis. Canadian Journal of Forest Research, 1987, 17: 472-483.

[2] Hungerford R D, Nemani R R, Running S W. MTCLIM: a mountain microclimate simulation model. Research Paper, USDA Forest Service, Intermountain Research Station. Ogden Utah, USA, 1989.

[3] Thornton P E, Running S W. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation. Agricultural and Forest Meteorology, 1999, 93: 211-228.

[4] Thornton P E, Hubert H, Michael A W. Simultaneous estimation of daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: an application over complex terrain in Austria. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 104: 255-271.

[5] Zhang N, Y G R, Zhao S D, Yu Z L. Ecosystem productivity process model for landscape based on remote sensing and surface data. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(5): 643-652.

[6] LI H T, Shen W Q, Sang W G. Research Situation and Application of MTCLIM Model (Mountain Microclimate Simulation Model). Journal of Mountain Science, 2001, 19(6): 533-540.

[7] LI H T, Shen W Q, Xia J. The Validation of Air Temperature Estimates of Mountain Microclimate Simulation Model in China's Subtropical Mountainous Region. Journal of Mountain Science, 2003, 21(4): 385-394.

[8] Liu L J, Zan G S, Ge J P. Vegetation hydrological effect model of typical watershed in the upstream of Minjiang Valley. Journal of Beijing Forestry University, 2004, 26(6): 19-24.

[9] Ephrath J E, Goudriaan J, Marani A. Modeling diurnal patterns of air temperature, radiation, wind speed and relative humidity by equations from daily characteristics. Agricultural Systems, 1996, 51: 377~393.

[10] Yang M H. The climatic features of Changbaishan and its vertical climatic zone on the northern slop. Acta Meterorologica Sinica, 1981, 39(5): 311~320.

[1] Running S W, Hungerford R D. Spatial extrapolation of meteorological data in ecosystem modeling application. In: Proceedings of 16th conference on agriculture and forest meteorology. Boston, MA: American Meteorology Society, 1983. 192 - 195.

[2] Weiss A, Hays C J. Calculating daily mean air temperatures by different methods: implications from a non-linear algorithm. Agricultural and Forest Meteorology, 2005, 128: 57 - 65.

[3] Richardson C W. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. Water Resource Research, 1981, 17: 182 - 190.

[4] Floyd R B, Braddock R D. A simple method for fitting average diurnal temperature curves. Agricultural and Forest Meteorology, 1984, 38: 217 - 229.

[5] Reicosky L J, Winkelman L J, Baker J M, Baker D G. Accuracy of hourly air temperatures calculated from daily minima and maxima. Agricultural and Forest Meteorology, 1989, 46: 193 - 209.

[6] Van Engelen A F V, Geurts H A M. Een rekenmodel dat het verloop van de temperatuur over een etmaal berekent uit drie termijnmetingen van de temperatuur. K. N. M. Z. Report, 1983, No. 165 ~ 3, De Bilt, the Netherlands (in Dutch).

[7] Parton W J, Logan J E. A model for diurnal variation in soil and air temperature. Agriculture Meteorology, 1981, 23: 205 - 216.

[8] Glassy J M, Running S W. Validating diurnal climatology logic of the MTCLIM model across a climatic gradient in Oregon. Ecological Application, 1994, 4 (2): 248 - 279.

## 参考文献:

[5] 张娜,于贵瑞,赵士洞,于振良. 基于遥感和地面数据的景观尺度生态系统生产力的模拟. 应用生态学报, 2003, 14 (5): 643 ~ 652.

[6] 李海涛,沈文清,桑卫国. MTCLIM 模型 (山地小气候模拟模型) 的研究现状及其潜在应用. 山地学报, 2001, 19 (6): 533 ~ 540.

[7] 李海涛,沈文清,夏军. MTCLIM 模型系列研究报告 (): 温度估算方法在中国亚热带山地的有效性验证. 山地学报, 2003, 21 (4): 385 ~ 394.

[8] 刘丽娟,昝国盛,葛剑平. 岷江上游典型流域植被水文效应模拟. 北京林业大学学报, 2004, 26 (6): 19 ~ 24.

[0] 杨美华. 长白山的气候特征及北坡垂直气候带. 气象学报, 1983, 39 (3): 311 ~ 320.