

# 宁夏区域太阳日辐射通量计算方法的研究

杨 勤

(宁夏气象局气象台, 宁夏 银川 750002)

**摘 要:** 利用银川站过去 5 a 的太阳日辐射观测资料 (1981 ~ 1985) 与大气外太阳辐射、日照时数、日照长度间的相关关系, 确定了区域系数  $a_s$ 。通过对  $b_s$  的取值进行敏感测试, 可得到一组最佳推算太阳辐射通量的区域系数:  $a_s = 0.3$ ,  $b_s = 0.5$ 。用此系数和太阳日辐射通量计算公式, 推算了银川站 1986、1987 年太阳日辐射通量并用观测值进行验证, 结果表明: 两者之间有很好的线性相关,  $R^2 = 0.94$ , 验证了区域系数的可信度。通过对银川站 2 a (1986, 1987) 资料的平均误差、平均偏差、平均绝对偏差和均方根偏差的计算表明, 结果与国内相关报道基本一致。对宁夏永宁站 1989 ~ 2000 年的太阳日辐射通量用区域系数进行估算, 并与银川站的实际观测资料比较, 结果显示永宁站太阳日辐射通量估算值和银川站实测值间有很好的线性关系, 12 a 间的方差最小值  $R^2 = 0.88$ 。

**关键词:** 区域系数; 太阳日辐射通量; 外空间辐射通量; 日照时数; 日照长度

中图分类号: P422.1

文献标识码: A

## 引 言

宁夏全区共有 26 个气象观测站点, 进行太阳日辐射通量观测的站点只有银川和固原站。目前进行农业产量预报的许多作物模式在应用中对气候数据的最小需求是日降水、最高、最低气温及太阳日辐射通量。由于太阳日辐射数据的欠缺, 当作物模型应用到某一特别区域时, 与其它 3 个要素变量在可观测的同步性上产生了很大问题。模式的精度会受到无数据和无空间代表性数据的影响<sup>[1]</sup>, 如何在作物模型中定义时间和空间上的代表性气候数据非常重要, 因此需要用通常的气象观测资料估算太阳日辐射通量。目前, 估算太阳辐射通量主要应用的方法有卫星遥感、统计计算、经典模拟 3 种方法。但通常使用的是通过日照百分率转换的经典模拟方法。

Rivington 等验证了通过日照百分率转换方法得到的太阳辐射通量资料是作物模型中对模拟精度而言效果最佳的数据源<sup>[2]</sup>。因此, 对不同地区, 寻找适合于本地区的地方系数推算太阳日辐射通量, 非常重要。

## 1 计算方法

太阳辐射计算公式使用 DeBoer 等<sup>[3]</sup>提供的, 但是对于不同区域必须确定公式中的区域系数  $a_s$  和  $b_s$ 。尽管他们给出了 2 个系数的推荐值, 但对不同的地方和区域, 在使用推荐值时对计算结果会产生较大的误差, 系数的检验是一关键问题。

### 1.1 太阳辐射通量 ( $R_s$ )

太阳辐射通量通过大气上空太阳辐射及日照百分率按如下公式计算:

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N}) R_a \quad (1)$$

$R_s$ : 太阳辐射或短波辐射通量, 单位为  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ;  $n$ : 太阳在一天中实际日照时间, 即日照时数, 单位为  $\text{h}$ ;  $N$ : 太阳从日出到日没的时间, 即白昼的时间长度, 单位为  $\text{h}$ ;  $n/N$ : 日照百分率;  $R_a$ : 大气外太阳辐射通量, 单位为  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ;  $a_s$ : 衰减常数, 表示大气外太阳辐射在阴天状况下 ( $n = 0$ )

收稿日期: 2007 - 01 - 30; 改回日期: 2007 - 06 - 08

基金项目: 中国气象局气候变化专项项目 (CCSF2006 - 16) 资助

作者简介: 杨勤 (1965 - ), 女 (汉), 宁夏惠农人, 高工, 博士, 主要从事大气边界层及应用气象方面的研究. E - mail: ya20060421@ yahoo.com.cn

到达地球的部分;  $a_s + b_s$ : 大气外太阳辐射在晴天状况下 ( $n = N$ )到达地球的部分。

因为大气条件(湿度,尘埃)和太阳偏差(纬度和月份),  $a_s$ 和  $b_s$ 值将发生变化。对于实际上无太阳辐射数据的地方利用上式是可行的,对已改进的  $a_s$ 和  $b_s$ 参数,未进行校准而使用的推荐值为:  $a_s = 0.25, b_s = 0.50$ 。

### 1.2 大气外太阳辐射

大气外太阳辐射  $R_a$ ,对于一年中的每天及不同纬度可以从太阳常数、地球与太阳之间的相对距离及一年的时间来决定。

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} \times G_{sc} d_r [ \sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \sin(\omega) ] \quad (2)$$

上式中的  $G_{sc}$ 为太阳常数,值为  $0.0820 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $d_r$ 是太阳与地球间的相对距离:  $d_r = 1 + 0.033 \cos(\frac{2}{365} \times J)$ ,  $J$ 表示一年中第1天(1月1日)到365或366天(12月31日)的日序数;  $\delta$ 为太阳时角,用弧度表示,  $\delta = \arccos[ -\tan(\phi) \tan(\omega) ]$ ,当反余弦函数在所使用的计算语言中无法获得时,也可用反正切函数计算太阳时角:  $\delta = \arctan[ \frac{-\tan(\phi) \tan(\omega)}{x^{0.5}} ]$ ,其中,  $x = 1 - [ \tan(\phi) ]^2 \tan^2(\omega)$ ,如果  $x < 0$ ,则  $x = 0.00001$ ;  $\phi$ :纬度,用弧度表示;  $\omega$ 为太阳赤纬,计算如下:

$$\omega = 0.409 \sin(\frac{2}{365} \times J - 1.39)$$

在纬度大于南北纬 55 的冬季,  $R_a$  等式的合理性受到限制。

### 1.3 日照长度

日照长度(太阳从升起到落下的时间长度)  $N$ 的计算公式如下:

$$N = \frac{24}{\pi} \times \omega_s \quad (3)$$

## 2 银川区域系数的确定

为了确定区域系数  $a_s$ 和  $b_s$ ,选取有太阳日辐射观测数据的银川站,利用太阳辐射与大气外太阳辐射及日照百分率的相关关系,与银川站 1981~1985年的实际太阳日辐射观测资料进行拟合,可以得到

相关性很高的线性关系,相关系数  $R^2 = 0.94$ ,如图 1 所示。图中  $X$ 轴表示银川站 5 a间每日的太阳辐射观测值,  $Y$ 轴表示计算值与实际观测的太阳日辐射值的相关拟合。依照图中所示的直线相关式,可反演  $a_s$ 和  $b_s$ 的值。从关系式中可反推出  $a_s = 0.3$ ,此值是确定的、不随季节变化的值。对于  $b_s$ 的取值,进行了敏感测试以确定最佳值。选取银川站 1986, 1987年作为测试样本年,当  $a_s = 0.3$ 时,  $b_s$ 的取值分别为 0.3, 0.45, 0.5,代入  $R_s$ 的相关公式,估算太阳日辐射值并与 2 a的实际太阳日辐射观测值比较,结果如图 2 所示。测试结果表明,随着  $b_s$ 取值的增大,估算结果和实测结果向 1:1 线逼近,当  $b_s = 0.5$ 时,估算结果与实测结果最靠近 1:1 线,相关系数最大,  $R^2 = 0.94$ 。为寻找  $b_s$ 的最佳值,对  $b_s = 0.55$ 也进行了测试,发现线性相关线位于 1:1 线上方,说明估算结果逐渐向大于实测值的方向偏离。由此确定取  $b_s = 0.5$ 为最适值。

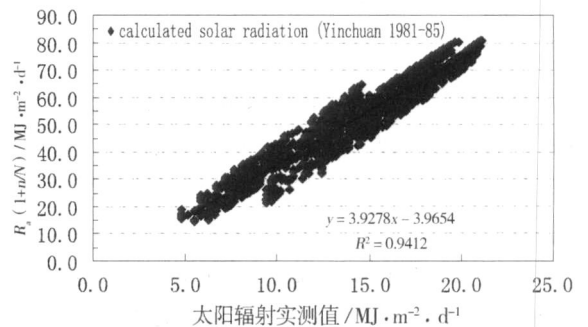


图 1 银川站 1981~1985年观测的太阳日辐射通量和计算值间的线性相关

Fig 1 Relationship between observed solar radiation and formula calculation values at Yinchuan station during 1981 - 1985

左大康等根据我国不同类型地区实测总辐射和日照百分率的月平均值和晴天状态下的月总辐射资料计算得到  $a_s$ 为 0.248,  $b_s$ 为 0.752<sup>[41]</sup>。显然这组系数不适合于宁夏地区,因为通过对银川站的敏感测试,已验证和确定了一组最适系数,并利用平均偏差(MBE,  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ),平均绝对偏差(MABE:  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ),均方根偏差(RMSE:  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ),平均绝对误差(MAPE: %)方法,对银川站 1986, 1987年的结果进行检验,各误差计算结果如表 1所示。各误差计算公式如下:

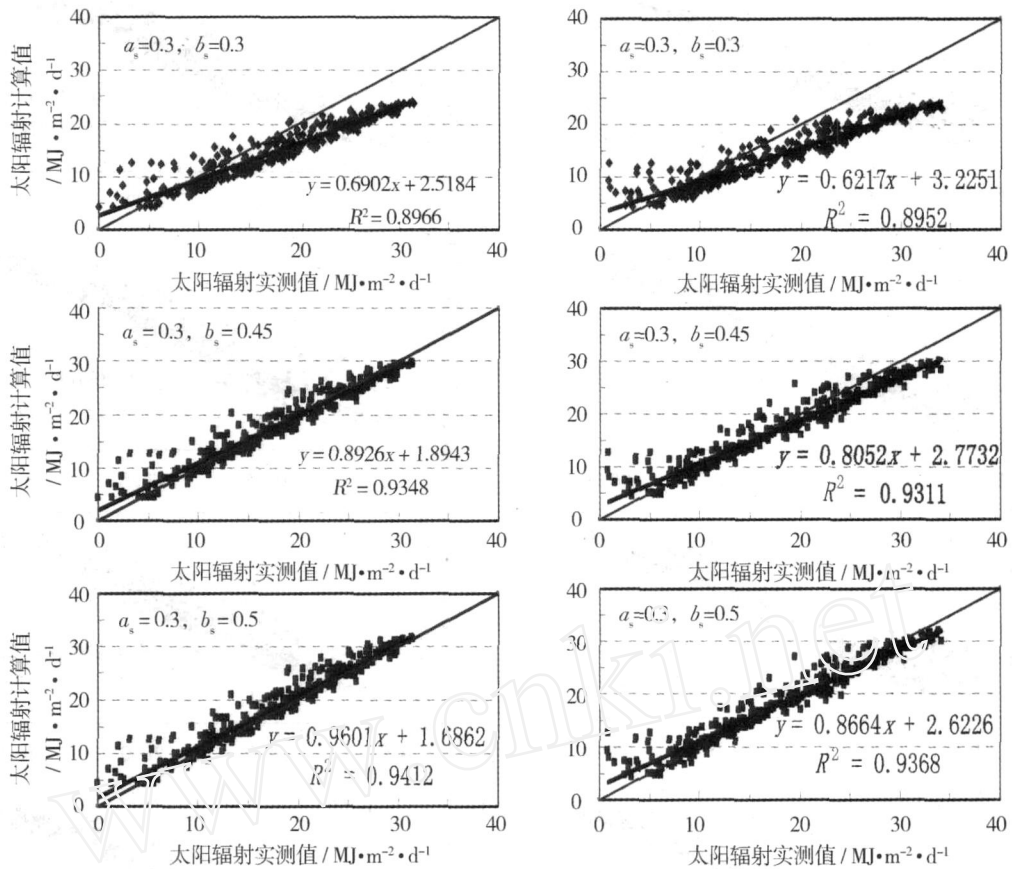


图 2 银川站 1986 (左), 1987 (右) 年太阳日辐射观测资料对区域系数进行推算结果敏感测试的比较

Fig 2 Sensitivity test for daily solar radiation observed and calculated in 1986 (left) and 1987 (right) at Yinchuan station ( $a_s = 0.3, b_s = 0.3, 0.45, 0.5$ , respectively)

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{sim} - R_{obs}) \quad (4)$$

$$MABE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |R_{sim} - R_{obs}| \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{sim} - R_{obs})^2} \quad (6)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|R_{sim} - R_{obs}|}{R_{obs}} \quad (7)$$

这里,  $R_{sim}, R_{obs}$  分别表示模拟结果和观测结果。从表 1 所显示的误差结果来看, MBE, MABE,

RMSE 的误差范围均和童成立等<sup>[5]</sup>对全国的模拟结果接近, MAPE 的误差比较大。

我们发现模拟结果中出现较大误差总是发生在太阳日辐射观测值的低值区, 对高值区的模拟效果较好, 这也同童成立等<sup>[5]</sup>的研究结果一致。

### 3 区域系数适应性检验

利用从银川站得到的区域系数及太阳辐射计算式, 推算了永宁站 12 a (1989 ~ 2000) 的太阳日辐射通量并与银川站同一时间序列的太阳日辐射观测值比较, 结果显示在图 3 中。结果表明: 12 a 永宁站的推算结果和银川站的实测结果有很好的线性相关性, 最小方差达到 0.88, 最大方差达到 0.93。说明用此方法估算气候条件接近银川站点的其它区域的太阳日辐射通量, 是合理可行的, 并有较高的线性相关性。

表 1 银川站 1986, 1987 年太阳日辐射通量各种误差计算结果

Tab 1 Results of various errors analysis at Yinchuan station in the years of 1986 and 1987

	MBE	MABE	RMSE	MAPE
	$MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$	$MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$	$MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$	%
1986	1.00	1.36	2.05	34
1987	0.26	1.51	2.16	22

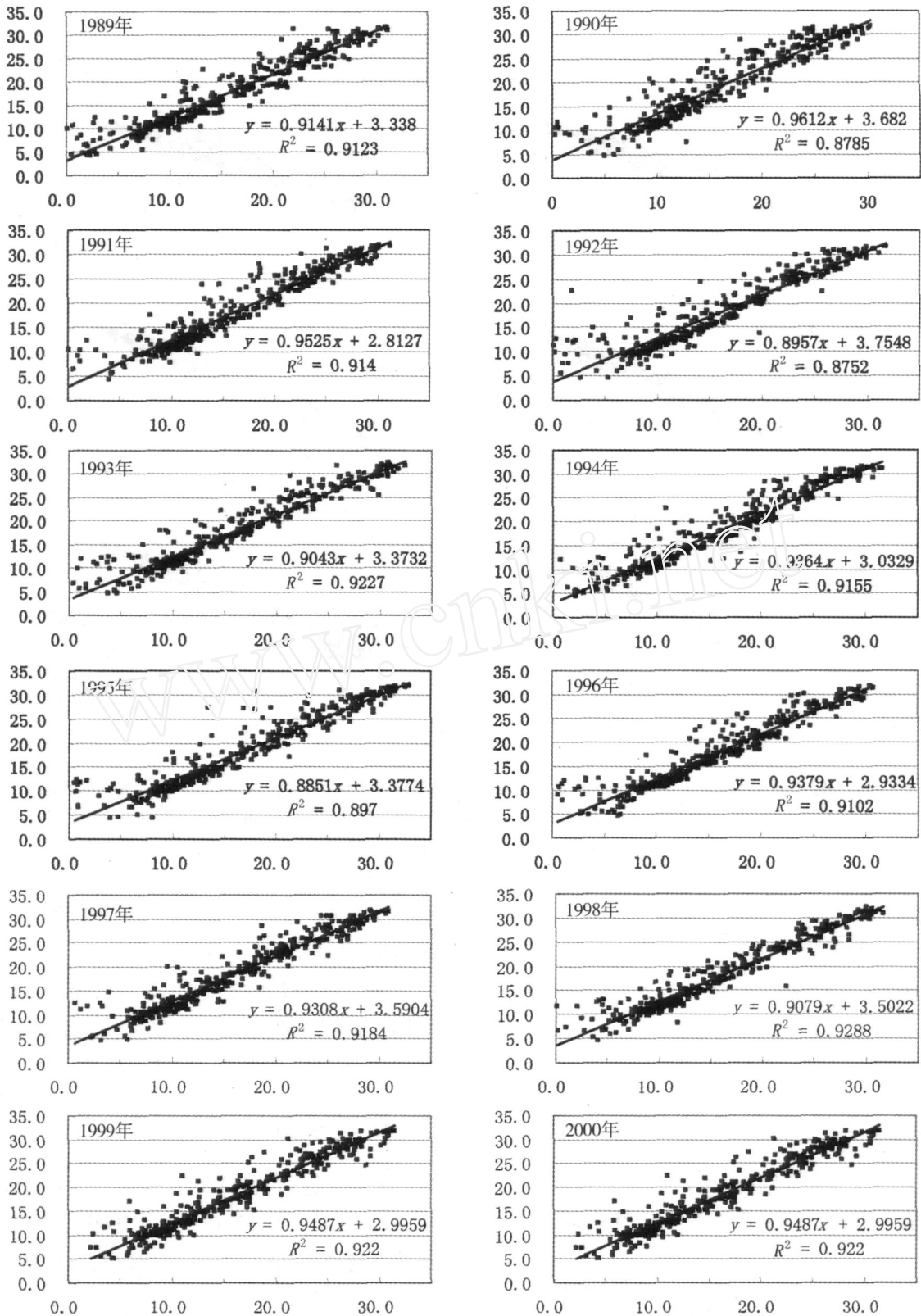


图 3 用区域系数 ( $a_s = 0.3, b_s = 0.5$ ) 计算的永宁站 1989~2000 年太阳日辐射值和银川站观测值的比较  
(单位:  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , 横坐标为银川站观测值, 纵坐标为永宁站计算值)

Fig 3 Comparison of estimated solar radiation at Yongning station ( $a_s = 0.3, b_s = 0.5$ ) with observation values of solar radiation at Yinchuan station during 1989 - 2000 (Unit:  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )

## 4 讨 论

对于不同地方区域太阳辐射计算方法有许多研究。对某一特定地区,建议要确定和验证本区域系数。通过对银川站得到的区域系数进行验证检验,我们确定了一组最适系数。用这组区域系数推算了永宁站 12 a 的太阳日辐射通量。随意选取了 1 样本年(1991年),分析了 1 年 365 d 中太阳日辐射值的相对误差。以银川站的实际观测值为基准,对永宁站的逐日相对误差分析结果显示,除去个别的极端误差,365 d 中有 72 d 误差 >20%,剩余天数误差 <20%。造成较大误差的原因之一是观测数据质量的可信度,其次是观测值在比较连续稳定的期间,突然出现向低值方向跳跃时,会产生较大误差。同时应在反演区域系数的线性拟合中,考虑剔除阴天雨日的影响,再将阴天雨日对太阳辐射的贡献率进行评估,完善计算方法。

确定太阳辐射的区域系数,对气候条件相近的区域推算值精度会较高。对宁夏固原地区,建议应

用固原站的观测资料,用同样的方法确定区域系数,来推算固原站附近其它地点的太阳日辐射通量,这对提高推算精度是必要的。

### 参考文献:

- [1] Hoogenboom G. Contribution of agro - meteorology to the simulation of crop production and its applications[J]. Agriculture and Forest Meteorology, 2000(103): 137 - 157.
- [2] Rivington M, Matthews KB, Buchan K. A Comparison of Methods for Providing Solar Radiation Data to Crop Models and Decision Support Systems[J]. Integrated Assessment and Decision Support: Proceedings of the 1st biennial meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, University of Lugano, Switzerland, 2002, 3: 193 - 198.
- [3] DeBoer DW, Olson D I, Skonard C J. Evaluation of solar radiation estimation procedures for eastern south DAKOTA [J]. Proceedings of the South Dakota Academy of Science, 2005, 84: 265 - 275.
- [4] 左大康,王懿贤,陈建绥. 中国地区太阳总辐射的空间分布特征[J]. 气象学报, 1963, 33(1): 78 - 95.
- [5] 董成立,张文菊,汤阳,等. 逐日太阳辐射的模拟计算[J]. 中国农业气象, 2005, 26(3): 165 - 169.

## Calculation Method of Daily Solar Radiation in Ningxia Region

YANG Q in

( Meteorological Observatory of Ningxia, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** Based on observation data of daily solar radiation of Yinchuan station during 1981 - 1985, along with linear relationship between observation values of solar radiation and extraterrestrial radiation, sunshine duration and daylength, the regional coefficient  $a_s$  was obtained, and sensitivity test was done to the values of  $b_s$ , finally the best values of  $a_s = 0.3$ ,  $b_s = 0.5$  was obtained to estimate regional solar radiation. In the light of the regional coefficients and calculation formula of solar radiation, the daily solar radiation in the year of 1986 and 1987 at Yinchuan station was estimated, and comparison was done between estimated values and observation data. Results show the correlation coefficient  $R^2$  was 0.94, which validated the reliability of regional coefficients. The daily solar radiation at Yongning station was estimated using the related formula of solar radiation and regional coefficients during 1989 - 2000, and compared with observation data of Yinchuan station. Results show that there were good linear relationship between them, and the minimum of  $R^2$  was 0.88 in twelve years.

**Key words:** regional coefficient; daily solar radiation; extraterrestrial radiation; sunshine duration; daylength