关于逐日太阳辐射估算方法的探讨

张　宇　　赵四强

（中国气象科学研究院）

提　要

由于太阳辐射的测站较少，对于较短时间间隔（如逐日），用邻近站点替代，误差往往又较大。因此本文在分析北京、天津、沈阳和哈尔滨逐日太阳辐射与温度、日照时数和降水状况等因子关系的基础上，建立了用日常气象资料估算太阳辐射的方法。

一、引　言

太阳辐射是天气、气候的形成与演化，动植物生存与繁演的基本能量来源。观测、计算太阳辐射的时空分布，具有重要的科学价值和现实意义。我国有各种气象观测台站2500多个，其中国家基本站600多个，而进行太阳辐射观测的台站仅有90多个。随着天气、气候及作物生长模拟研究的逐步深入，日益感到太阳辐射资料的缺乏，也限制了其它气象资料的充分利用。对没有辐射观测的站点，常用日照时数进行估算，或用邻近站点的辐射观测值代替，这些方法对于较短的时间间隔，如逐日，由于受云和其它天气要素的影响，误差往往很大，如表1所示。

表1　用替代法和日照时数估算日辐射值的相对误差（%）（资料为1985.3.1—9.30）

估算方法	时段	北京	天津	沈阳	哈尔滨
用北京的实测值替代	日	0.0	22.06	43.35	48.61
	旬	0.0	14.34	18.24	25.02
用本站日照时数估算	日	33.07	37.18	39.41	29.40
	旬	7.04	8.22	9.43	14.95

由表1可见，用邻近站点替代产生的误差，逐日比逐旬要大得多，站点相距越远，误差也越大。为了充分利用日常气象观测资料，减小辐射的估计误差，本文研究了用本站气象要素估算逐日太阳辐射的方法。

二、资料与方法

选取有太阳辐射观测的站点：北京、天津、沈阳、长春和哈尔滨，资料除长春为1985年3月1日至9月30日外，其它点为1985年和1986年的3月1日至9月30日，之所以选取这一时段，是考虑到作物和牧草生长模拟研究的需要。其它气象要素有日最高气温、日最低气温、日较差，日照时数和降水状况。考虑到降水对太阳辐射的影响，根据降水情况，将资料分为有雨日和无雨日两类。有雨日包括微量降水日，无雨日在一般气象整编资料中，降水记录为空。分别对这两种情况进行统计分析。

对于有雨日，太阳辐射量与日照百分率、气温日较差有明显正相关，与日最高气温呈正相关，而与降水量呈负相关。根据逐个因子进行组合、变换、统计分析，有雨日的太阳辐射可用下面的模型估计：

$$Q_R=[a_0+a_1\cdot T_M+a_2\cdot S_A/S_0\cdot 100+a_3\cdot 100\cdot(1-S_A/S_0)\cdot\ln(2+R)]Q_0/100 \quad (1)$$

上式中Q_R为估计的雨天太阳辐射量；a_0、a_1、a_2和a_3为回归系数；T_M为日最高气温；S_A为日照时数；S_0为可照时数；R为降水量；Q_0为当地大气层顶的太阳辐射。Q_R的的单位取决于Q_0的单位。

根据对不同年份、不同站点资料的分析，上述模型比较稳定，入选的因子都很一致。日较差虽然与太阳辐射有较高正相关，但它与日照百分率的相关系数也很高，所以不能入选。根据各点的统计分析，计算结果如表2。

表2 有雨日的统计计算结果

	a_0	a_1	a_2	a_3	样本数	R^2
北京	3.2784	0.38282	0.39349	-0.01411	177	0.8362
天津	4.6885	0.35251	0.41749	-0.02191	171	0.7716
沈阳	7.4643	0.28899	0.38618	-0.02144	188	0.8341
哈尔滨	7.0669	0.34129	0.31414	-0.03270	219	0.8508
平均	5.6254	0.34140	0.37783	-0.02254		

由表2可见，各站点的回归系数虽有一定差异，但其符号和量级是一致的，说明上述模型有一定的通用性和稳定性。考虑到资料对不同年型和不同地域的代表性，直接用各点回归系数的平均作为通用模型的回归系数。

类似地，无雨天的太阳辐射可用下式表示：

$$Q_C=(b_0+b_1\cdot T_M+b_2\cdot S_A/S_0\cdot 100)Q_0/100 \quad (2)$$

上式中Q_C为无雨天的太阳辐射；b_0、b_1和b_2为回归系数，其它变量同前。各点的计算结果如表3。

由表3可见，不同站点的回归模型都比较稳定，回归系数比有雨日更为一致，但复相关系数比有雨日低一些。考虑到资料的时空代表性，可用各点平均作为通用模型的回归系数。

表3 无雨日的统计计算结果

	b_0	b_1	b_2	样本数	R^2
北京	2.4267	0.49218	0.33739	251	0.7021
天津	5.7544	0.44089	0.37585	257	0.6347
沈阳	4.8825	0.44514	0.34043	240	0.5808
哈尔滨	8.8791	0.37672	0.26428	209	0.6257
平均	5.4857	0.43873	0.32949		

三、计算过程与结果验证

计算时，先根据当地的地理纬度和日序，计算可照时数和大气层顶的太阳辐射，再根据降水状况，分有雨日和无雨日分别进行计算。所用的输入资料有：地理纬度、日序、日照时数、日最高温度和降水状况。具体计算方法如下：

$$Q_0=1367\times 3600\times\sum_{x=T1}^{T2}\sqrt{1-S_{b,t}^2} \quad (焦尔/米^2/日) \quad (3)$$

其中

$$S_{b,t}=\sin\varphi\cdot\sin\delta+\cos\varphi\cdot\cos\delta\cdot\cos\left(\frac{12+t}{12}\pi\right) \quad (4)$$

上式中φ为地理纬度；δ为太阳赤纬；t为当地太阳时；T_1和T_2分别为日出和日落的时间：

$$T_1=12-S_0/2 \quad (5)$$

$$T_2=12+S_0/2 \quad (6)$$

上式中S_0为可照时数：

$$S_0=24/\pi\cdot\arccos(-\mathrm{tg}\delta\cdot\mathrm{tg}\varphi) \quad (7)$$

$$\delta=-23.4\pi/180\cdot\cos[2\pi(D+10)/365] \quad (8)$$

(8)式中D为计算日的日序，从1月1日算起。模式的计算结果如表4。

由表可见，用这种方法估计太阳辐射，可以在一定程度上减小用相邻点替代产生的误差，即使两站相距仅100km（如北京和天津），用这种方法仍比较优越。而且在计算

（下转第44页）

（上接第53页）

表4 辐射估计的相对误差（%）

	北京	天津	沈阳	长春	哈尔滨
1985.3.1—9.30	15.85	17.14	17.56	13.69	17.53
1986.3.1—9.30	14.77	20.71	16.24		18.06

注：长春1986年缺辐射资料。

上也比较方便。模式虽然是用统计方法建立的，但所用资料为北京、天津、沈阳和哈尔滨，它们的气候差异较大，用平均建立的模型，其稳定性和代表性都比较强。可见，用这种方法估计逐日太阳辐射，特别是在辐射观测较少的地区是可取的。对于不同的地区和对准确度要求较高的情况，可以根据上述基本模型重新计算回归系数。

参考文献

（1） 高德力安J.著，王正非等译，作物微气象学：模拟研究，科学出版社，1985。

（2） 王炳忠，太阳辐射能的测量与标准，科学出版社，1988。

（3） Boisvert J. B. et al., Improving the Estimation of Global Solar Radiation Across Canada, Agric.For. Meteorol 62 (1992): 275-285.