第 29卷 第 2期 气 象 科 学 Vol 29, No. 2
2009年 4月 SCIENTIA METEOROLOGICA SINICA Apr, 2009

吴林荣,江志红,鲁渊平,等. 陕西太阳总辐射的计算及分布特征. 气象科学, 2009, 29(2): 187-191

陕西太阳总辐射的计算及分布特征

吴林荣[1,2] 江志红[1] 鲁渊平[2] 杜继稳[3] 乔 丽[3]
(1南京信息工程大学,南京 210044) (2陕西省气象台,西安 710014) (3陕西省气象局,西安 710014)

摘 要 文章利用了陕西省延安、西安、安康三站逐月太阳总辐射和 98站的 1971—2005年月日照百分率资料,建立回归分析方程,推算并分析了全省各地逐月的太阳总辐射分布,进而分析了陕西月、季、年太阳总辐射的空间分布特征为陕北 5月或 6月最大,关中和陕南 7月份最大,并指出了省内太阳能资源的富集区,在陕北长城沿线,渭北高原次之;为陕西省太阳能资源的开发利用及太阳辐射对陕西省气候影响的研究提供了科学依据。

关键词 太阳总辐射 分布特征 回归方程
分类号 P412 **文献标识码** A

The calculation methods and distributive character of solar radiation in Shaanxi province

Wu Linrong[1,2] **Jiang Zhihong**[1] **Lu Yuanping**[2] **Du Jiwen**[3] **Qiao Li**[3]
(1 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)
(2 Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710014, China) (3 Shaanxi Meteorological Bureau, Xi'an 710014, China)

Abstract Regression equation with high precision is established on the basis of information of total solar radiation and sunlight percentage of Xi'an, Yan'an and Ankang to calculate the total solar radiation month by month in various places of Shaan'xi An analysis is made of the spatial distribution characteristics of solar radiation in month, four seasons and year of total solar radiation, and the solar energy resource enrichment areas in Shaan'xi have been pointed out, which is useful in studying the total solar radiation and the solar energy resources development

Key words Total solar radiation Distribution characteristics Regression equation

引 言

太阳辐射是地面的主要能量来源,也是地面热量平衡的重要组成部分。我国的太阳能资源十分丰富,全国陆地每年接受太阳辐射能相当于 2.4万亿吨标准煤,实际可利用的区域也十分广泛,面对目前全球性的能源危机,世界各国都在努力寻求和开发可再生清洁能源。我国太阳能开发利用前景广阔,把太阳能利用作为国家未来能源开发的重点,对我国的经济可持续发展具有十分重要的战略意义。目前国内外学者对太阳辐射的计算大体可归纳为三种,即: (1)利用气候学方法计算太阳辐射的各分量。 (2)利用卫星遥感资料反演太阳辐射的有关参数。 (3)利用数字高程 (DEM)结合 GIS技术模拟太阳辐射[1-6]。由于我国太阳辐射站较少,一些省、市、区甚至全国的太阳辐射均基于气候学方法进行计算[7-10]。1995年董亚非、李兆元对陕西关中地区的太阳辐射进行了简单分析[11],1997年庞文保对陕西的延安、西安、安康三个辐射站的辐射资料进行了分析[12],但资料序列较少,而且只分析了太阳辐射的日变化,也没有定量地计算出全省的辐射分布值。本文采用气候学方法对陕西省太阳辐射进行计算,并对其分布特征进行讨论,以便为研究全球气候变化、评估农业气候生产潜力以及太阳能工程等提

收稿日期: 2007-06-07;**修改稿日期**: 2008-03-10
基金项目:国家自然科学基金项目 (40675043)
第一作者简介:吴林荣 (1975-),男,陕西汉中,硕士,工程师,主要从事计算机应用开发及应用气象研究

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

供科学的依据。

1 资料和方法

陕西省位于 31°42′～39°35′N、105°29′～110°15′E,东西最宽约 500 km,南北长约 880 km,以北山、秦岭为界,形成陕北黄土高原、关中平原和陕南秦巴山地三个各具特点的自然区,境内有山地、平原、黄土高原等多种地形,使全省的太阳辐射差异较大。我省目前只有西安、延安、安康三个辐射观测站,延安和安康只观测总辐射,西安可观测总、净辐射。

1.1 资料来源及审查

辐射资料取自陕西省气象档案馆。三个辐射站中西安站的建站时间最长,从 1961年开始,延安和安康均是 1990年才建站,经对三个站的日总辐射资料进行分析,西安和延安的辐射资料质量较好。而安康站从 1990年建站后,1991、1992、1993连续 3a的资料都不太规范,期间缺测很多,最多的单月有 19天缺测(1991年 1月),资料代表性较差。所以本文中辐射资料的序列长度分别取:西安 1961—2005年、延安 1990—2005年、安康 1994—2005年。气候资料取自陕西省气象档案馆信息化资料,包括了全省 98站的 1971—2005年的月日照百分率。

1.2 计算方法

目前,国内外太阳辐射的气候学计算方法可统一用下式表示

$$Q = Q_0 f(s, n) \quad 。 \quad (1)$$

式中:Q为地表受到的太阳总辐射;Q_0为起始数据(或称背景值),Q_0可以是天文辐射、晴天大气总辐射或理想大气总辐射;$f(s, n)$是以日照百分率和总云量表示的天空遮蔽度函数。研究表明使用晴天大气总辐射、理想大气总辐射或天文总辐射进行计算差别不大[13-16],用日照百分率比云量效果好,双因子略好,但相差不大。考虑到天文总辐射可以直接用公式计算,本文确定计算公式为

$$Q = Q_0 (a + bS) \quad 。 \quad (2)$$

其中 Q为地表受到的太阳总辐射;Q_0为天文辐射;S为日照百分率;a, b为系数。

根据延安、西安、安康三站的各月辐射和日照百分率,采用最小二乘法拟合出式(2)中各月的经验系数 a、b,然后计算出各地的地面月平均太阳总辐射。

2 月太阳辐射的计算和检验

2.1 分区

为了比较准确计算陕西各地的太阳总辐射,先将陕西 98个站进行合理分区。按相关系数和欧氏距离进行分类,两者结果基本相同,只有旬邑、澄城、合阳、韩城、留坝 5站的归类有矛盾,按相关系数最大旬邑、澄城、合阳归延安,留坝归安康,韩城归西安,按欧氏距离最小旬邑、澄城、合阳、留坝归西安,韩城归延安。为了解决这一矛盾,再对这 5站采用 u检验法。

u检验法,计算公式为

$$u = \frac{\overline{S_1'} - \overline{S_2'}}{\sqrt{\frac{\delta_1}{N_1} + \frac{\delta_2}{N_2}}} \quad 。 \quad (3)$$

式中 $\overline{S_1'}$、$\overline{S_2'}$为日射站与被检验站平均日照百分率,δ_1、δ_2为日射站与被检验站日照百分率的标准差,N_1、N_2为二站的样本数。按(3)式计算旬邑、澄城、合阳、韩城分别与延安、西安各月的 u值,留坝分别与西安、安康各月的 u值,对于延安来说韩城有 10个月通过 0.05的信度检验,澄城、合阳有 3个月通过,旬邑仅 1个月通过;对于西安来说,澄城、合阳有 9个月通过,旬邑有有 11个月通过,韩城仅有 2个月通过,留坝仅有 1个月通过;对安康来说,留坝有 11个月通过;因此将韩城归入延安,旬邑、澄城、合阳归入西安,留坝归入安康。所以最终的分区为榆林全部、延安全部外加长武、宜君、韩城划归延安区;除长武、宜君、韩城外的其它关中市县划归西安区;陕南的所有市县划归安康区。

2.2 月天文总辐射的计算

根据朗伯余弦定理,由太阳天文辐射总量公式计算出太阳天文总辐射,然后逐日求和累计出月辐射量[17]。太阳天文辐射总量的计算公式如下

$$Q_n = \frac{TI_0}{\pi\rho^2}(\omega_0 \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \sin\omega_0) \quad 。 \quad (4)$$

式中 Q_n为太阳天文辐射总量 (MJ·m^{-2}·d^{-1});T为周期 (24×60×60 s);I_0为太阳常数 (根据 WMO公布的标准取 13.67×10^{-4} MJ·m^{-2}·s^{-1});ρ为日地相对距离;φ为测点地理纬度,单位:弧度 (rad);δ为太阳赤纬,在天赤道以北为正,以南为负,单位:弧度 (rad);ω_0为太阳时角,从真太阳时正午算起,向西为正,向东为负,单位:弧度 (rad)。

ρ由式 (5)计算[18]

$$\rho^2 = 1.000\,423 + 0.032\,359\sin\theta + 0.000\,086\sin 2\theta - 0.008\,349\cos\theta + 0.000\,115\cos 2\theta \quad 。 \quad (5)$$

其中

$$\theta = 2\pi \times 57.3(J + \triangle N - N_0)/365.2422, \quad (6)$$

$$\triangle N = (W - L)/24 \quad , \quad (7)$$

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$N_0 = 79.676\ 4 + 0.242\ 2(Y - 1985) - NT[0.25(Y - 1985)] \quad (8)$$

(6)式中 J为按天数顺序排列的积日,从 1月 1日的 0到 12月 31日的 364; $\triangle N$为积日订正值,由观测地点与格林尼治经度差产生的时间差订正值 L和观测时刻与格林尼治 0时时间差订正值 W两项组成,由 (9)式给出; (10)式中的 Y为年份, NT()为取整函数。

太阳赤纬 δ由式 (9)计算[18]:

$$\delta = 0.372\ 3 + 23.256\ 7\sin\theta + 0.114\ 9\sin 2\theta - 0.171\ 2\sin 3\theta - 0.758\ 0\cos\theta + 0.365\ 6\cos 2\theta + 0.020\ 1\cos 3\theta \quad (9)$$

日落时的太阳时角由式 (10)计算[19]:

$$\omega_0 = \arccos(-\tan\phi\tan\delta) \quad (10)$$

2.3　月太阳辐射计算公式的建立和检验

将延安、西安、安康历年日辐射总量换算成历年各月总辐射,并根据各月的总辐射和日照百分率进行拟合,计算出各月的经验系数,为了检验方程的意义,对各月的回归方程的相关系数作 F值检验,结果如表 1所示。从表 1可以看出相关系数大部分在 0.6以上,只有安康的 5月、7月和 10月在 0.6以下,分别为 0.588、0.193和 0.27, F值均通过 $F_{0.01}$信度检验,回归方程总体显著 (为了进一步检验拟合方程的精度,预留了 2005年的资料作检验)。

为了进一步检验方程的精度,计算延安、西安、安康三个辐射站 2005年的方程计算值与 2005年的实测值之间的相对误差,即: $\frac{(Q_{计} - Q_{实})}{Q_{实}} \times 100\%$,结果如表 2所示,从表中可以看出,除了安康 2月、7月、10月和 11月相对误差超过 10%外 (分别为 12.9%、10.2%、32%、13.2%),其余各站各月的相对误差均控制在 ±10%之间,各站 12个月相对误差的绝对值平均为:延安 2.48%,西安 5.5%,安康 7.84%,误差相对较小,方程精度较高。结合前面的表 1中的相关系数,不难发现延安和西安的辐射资料质量较高,而安康站的辐射资料质量要相对差一些。

3　全省太阳辐射的分布特征

3.1　全省各站月太阳总辐射的分布

根据前面的分区结果,将陕西省 98个台站的对应天文辐射、日照百分率分别代入相应的区域拟合方程,最终计算出全省各地的月太阳总辐射,并将计算结果在 surfer 8.0软件中采用克立格差值法完成全省范围的太阳辐射差值。结果表明:陕北片区年内太阳总辐射基本是 5月或 6月达到最大值;而关中和陕南地区的年内太阳总辐射则呈现出一致性的 7月最大;从空间上来看,各月太阳总辐射的分布存在两个高值地区 (图略),一是陕北长城沿线一带,二是关中北部、陕北南部地区。其中 1、2、8、10、11、

表 1　延安、西安、安康 3站月太阳辐射计算公式中各月经验系数和统计检验

Table 1　The fitting coefficient and statistical test of Xi'an, Yan'an and Ankang in monthly solar radiation formula

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
延安	*a*	0.009	0.167	0.121	0.225	0.114	0.214	0.202	0.162	0.153	0.177	0.113	0.085
	b	0.7	0.505	0.581	0.429	0.633	0.459	0.477	0.511	0.533	0.469	0.575	0.58
	R	0.819	0.816	0.932	0.887	0.827	0.714	0.642	0.751	0.804	0.782	0.924	0.628
	F	42.1	89.13	112.5	100.9	78.61	53.38	44.9	84.63	65.87	110.5	136.7	39.5
西安	*a*	0.218	0.25	0.246	0.286	0.27	0.205	0.214	0.221	0.177	0.201	0.454	0.217
	b	0.473	0.393	0.376	0.294	0.345	0.491	0.481	0.464	0.516	0.457	0.21	0.461
	R	0.895	0.738	0.755	0.604	0.674	0.85	0.826	0.833	0.884	0.815	0.82	0.841
	F	215.8	182.8	137.6	111.3	117.1	134.6	125.1	198.9	176.1	228.1	156.9	237.5
安康	*a*	0.233	0.273	0.186	0.222	0.246	0.18	0.397	0.151	0.194	0.269	0.206	0.18
	b	0.253	0.212	0.443	0.376	0.315	0.483	0.097	0.564	0.486	0.397	0.397	0.441
	R	0.645	0.677	0.921	0.833	0.588	0.687	0.193	0.778	0.648	0.27	0.64	0.6
	F	75.6	121.2	105	120.7	77	66.6	115.2	162.4	120.2	171.1	136.2	74.5

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 延安、西安、安康 3站 2005年月太阳辐射计算值与实测值之间的相对误差(%)

Table 2 The relative error between fitting value and actual value of monthly solar radiation in Xi'an, Yan'an and Ankang in 2005

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
延安	-1.1	3.5	1.4	-0.3	5.2	0.4	2.1	-2.9	4.4	1.4	0.7	-6.4
西安	-4.7	4.1	-0.8	1.2	-2.2	-5.9	5.2	9.9	-8.5	-9.9	-9.2	-4.4
安康	0.2	12.9	-4.0	-4.0	8.7	-2.3	10.2	-3.6	2.7	32	13.2	-0.3

12月太阳总辐射高值中心在关中北部、陕北南部一带,最大值区主要在渭北高原一带;3、4、5、6、7、9月以陕北长城沿线最高,基本呈从北向南递减趋势;7月和 9月在陕北南部、关中北部存在次高值带,8月和 10月陕北长城沿线为次高值带;无论哪个月份均是陕南西部山区总辐射最低。

3.2 全省各季节太阳总辐射的分布

春季各地的总辐射量为 1 068～1 587 MJ·m^{-2},占全年总辐射的 23%～34%(如图 1)。陕北长城沿线最高,最高值在府谷达 1 586.9 MJ·m^{-2},陕南南部地处大巴山山区北坡且常年雨水较多,因此陕南南部地区的太阳总辐射最低,最低值在镇巴为 1 068.2 MJ·m^{-2},其次是镇平为 1 096.7 MJ·m^{-2}。

夏季总辐射量为四季之最,总辐射量为 1 406～1 782 MJ·m^{-2},占全年的 30%～39%(如图 2)。陕南西部大部分县市不足 1 500 MJ·m^{-2},最低值在镇巴为 1 406.7 MJ·m^{-2}。最高值在陕北北部,最大为榆林达 1 781.2 MJ·m^{-2},且在渭北高原一带有次高值区,代表站澄城、合阳分别达到 1 780.9 MJ·m^{-2}和 1 775.5 MJ·m^{-2}。

秋季各地总辐射量为 805～1 064 MJ·m^{-2},占全年的 17%～23%(如图 3)。除陕北北部和渭北高原部分县市在 1 000 MJ·m^{-2}以上外,其余地区都小于 1 000 MJ·m^{-2},高值区在陕北长城沿线及渭北高原一带,低值区仍在陕南西部山区。

冬季总辐射量只有 550～886 MJ·m^{-2},为四季中最少的季节,仅占全年的 11%～19%(如图 4)。但与春、夏、秋三个季节不同的是,冬季太阳总辐射的高值区在渭北高原一带,而陕北北部为次高值地区。低值区仍在陕南西部地区。

3.3 全省年太阳总辐射的分布

全省年太阳总辐射量为 3 830～5 163 MJ·m^{-2},最高值区在陕北长城沿线一带,代表站横山 5 162.17 MJ·m^{-2},渭北高原地区为次高值区,代表站澄城、合阳分别达到 5 133.1 MJ·m^{-2}和 5 100.1 MJ·m^{-2},最低值区主要分布于陕南西部地区,汉中的大部分县市均不足 4 200 MJ·m^{-2},最低值站镇巴为 3 830.7 MJ·m^{-2}(如图 5)。

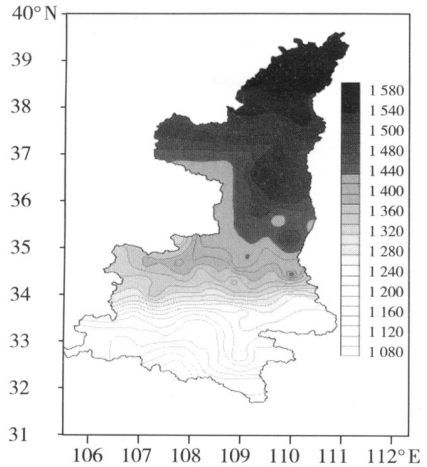


图 1 陕西省春季太阳总辐射分布(单位:MJ·m^{-2})

Fig 1 The distribution of spring total solar radiation in Shaanxi (unit: MJ·m^{-2})

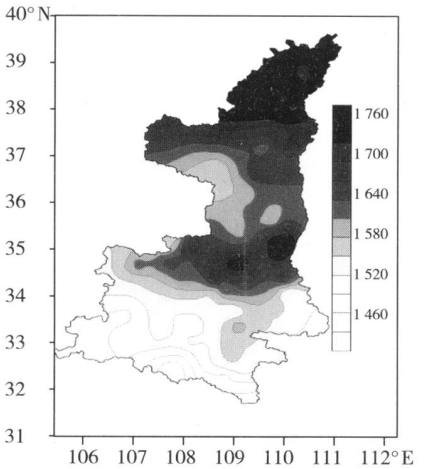


图 2 陕西省夏季太阳总辐射分布(单位:MJ·m^{-2})

Fig 2 The distribution of summer total solar radiation in Shaanxi (unit: MJ·m^{-2})

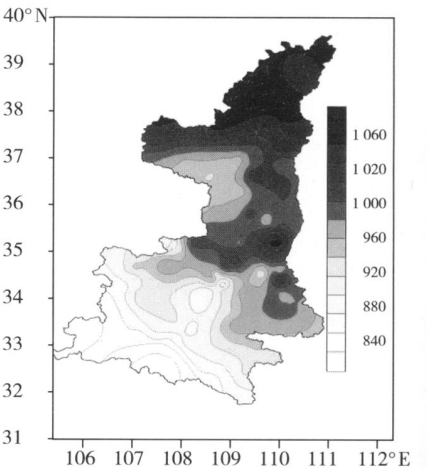


图 3 陕西省秋季太阳总辐射分布(单位:MJ·m^{-2})

Fig 3 The distribution of autumn total solar radiation in Shaanxi (unit: MJ·m^{-2})

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

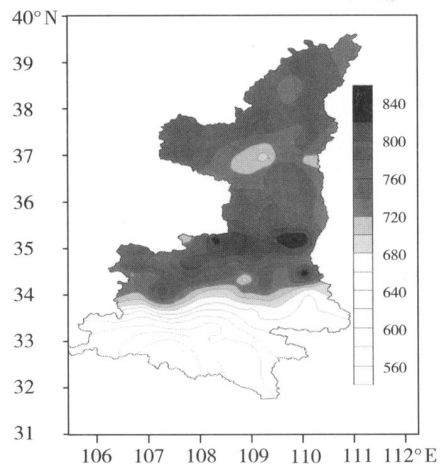


图 4 陕西省冬季季太阳总辐射分布 (单位:MJ·m⁻²)
Fig 4 The distribution of winter total solar radiation in Shaanxi (unit: MJ·m⁻²)

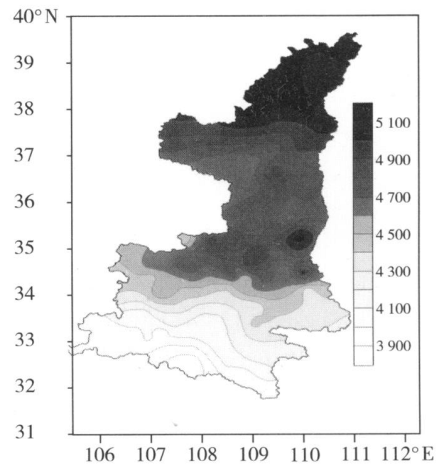


图 5 陕西省年太阳总辐射分布 (单位:MJ·m⁻²)
Fig 5 The distribution of annual total solar radiation in Shaanxi (unit: MJ·m⁻²)

4 结 论

(1)陕西省太阳辐射的年内变化规律是:陕北片区在 5月或 6月达到最大;而关中和陕南则一致呈现出 7月份最大;各月太阳总辐射空间分布基本是 3、4、5、6、7、9月在陕北长城沿线最大, 1、2、8、10、11、12、是关中的渭北高原一带最大。

(2)各季节的太阳总辐射以夏季最大,其次是春季、秋季,冬季。且春、夏、秋三季均以陕北长城沿线最高,渭北高原地区次高;而冬季正好相反,呈现出渭北高原地区最高,陕北长城沿线次高。

(3)年太阳总辐射以陕北长城沿线最高,渭北高原地区次高。

(4)无论是月、季还是年太阳总辐射全省的低值区都为陕南西部地区。

参 考 文 献

[1] 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. 气象学报, 1963, 33 (1): 78-95.
[2] 王炳忠,张富国,李立贤. 我国的太阳能资源及其计算. 太阳能学报, 1980, 1 (1): 1-9.
[3] 李晓文,李维亮,周秀骥. 中国近 30年太阳辐射状况研究. 应用气象学报, 1998, 9 (1): 24-31.
[4] 于群,郭品文,张福颖. 全球夏、冬季加热场的气候学特征及其年代际变化. 南京气象学院学报, 2007, 30 (6): 828-834.
[5] 刘艳,高歌,成天涛,等. 中国地区云对地气系统太阳短波吸收辐射强迫的气候研究. 气象科学, 2000, 20 (3): 260-269.
[6] 曹丽青,高国栋. 太阳短波辐射分光谱计算模式. 气象科学, 2004, 24 (2): 185-192.
[7] 沈瑱,曾燕,肖卉,等. 江苏省日照时数的气候特征分析. 气象科学, 2007, 27 (4): 425-429.
[8] 刘生,邱新法,王潇宇. 起伏地形下我国太阳散射辐射分布式模拟. 南京气象学院学报, 2007, 30 (3): 371-376.
[9] 刘新安,范辽生,王艳华,等. 辽宁省太阳辐射的计算方法及其分布特征. 资源科学, 2002, 24 (1): 82-87.
[10] 温敏,张人禾,杨振斌. 气候资源的合理开发利用. 地球科学进展, 2004, 19 (6): 896-902.
[11] 董亚非,李兆元. 关中地区气候资源特征分析. 陕西气象, 1995, (6): 34-36.
[12] 庞文保. 陕西省太阳辐射变化规律. 陕西气象, 1997, (5): 24-27.
[13] 张宇,赵四强. 关于逐日太阳辐射估算方法的探讨. 气象, 1991, 17 (10): 52-53.
[14] 钟强. 青藏高原太阳总辐射计算方法的讨论. 高原气象, 1986, 5 (3): 196-210.
[15] 李云艳,孙治安,曾宪宁,等. 晴天地表太阳辐射的参数化. 南京气象学院学报, 2007, 30 (4): 512-518.
[16] 刘绍民,李银芳. 新疆月太阳总辐射气候学计算方法的研究. 干旱区地理, 1997, 20 (3): 75-81.
[17] 李爱贞,刘厚凤. 气象学与气候学基础. 北京:气象出版社, 2004: 29-56.
[18] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京:气象出版社, 2003: 133-134.
[19] 高国栋,缪启龙,王安宇,等. 气候学教程. 北京:气象出版社, 1996: 31-32.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net