

中国东部夏季云量与日气温统计关系

郭元喜, 龚道溢, 汪文珊, 毛 睿, 胡 淼

(北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室 减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

摘要: 利用中国东部1980~2009年130个测站夏季逐日气象资料, 定量分析无雨日条件下云量与气温统计关系, 从辐射角度解释成因。结果表明: 日最高气温、日平均气温大多随着云量增多而显著下降, 这主要是由于云量增加会导致到达地面的太阳总辐射和地表净辐射显著减少。日最低气温在北方随着云量增多而显著上升; 在南方则随着总云量、低中云量增多而显著下降, 但与高云量的关系不明确。出现这种现象的原因无法完全从云量影响辐射的角度进行解释。气温日较差随着云量增多而显著减小, 并且北方减小的幅度大于南方。

关键词: 中国东部; 夏季; 云量; 气温; 日较差; 辐射

中图分类号: P468 **文章标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)01-0104-06

在气候系统中, 云起着非常关键的作用^[1]。随着对全球气候变化研究的不断深入, 云与地气系统的相互作用愈来愈受到关注, 但目前的研究表明, 这种相互作用究竟如何仍在争议之中^[2-9]。云与地气系统的相互作用非常复杂: 一方面, 云的气候效应不仅取决于云量, 还敏感地依存于云的高度、厚度、相态以及云的其它特征, 不同云参的多种正、负反馈过程之间相互影响, 使云与气候的关系更加复杂; 另一方面, 不同研究区域、不同研究时段可能存在不同的作用机制。

本文选取云与辐射最活跃的夏季作为研究时段, 选取气象资料丰富、站点分布均匀的中国东部地区作为研究对象, 利用逐日气温、降水及云量数据系统地研究不同云高、不同云量的云与气温、日较差之间的统计关系, 并尝试从辐射的角度对成因进行探讨, 得到一些有意义的结果, 可以为气候模式中云和辐射参数化方案的验证及改进提供参考。

1 资料与方法

本文中, 将中国东部定义为105°E以东的中国地区; 夏季定义为每年6~8月^[10-13]; 无雨日定义为降水量为0; 晴空定义为降水量为0且总云量<1成; 相关分析采用Pearson相关系数^[13,14]; 回归分析采用

一元线性回归。

温度、降水量、云量及辐射数据来源于中国气象科学数据共享服务网, 时段为1980~2009年。为了消除测站地理位置差异对气温序列的影响, 用研究时段内无雨日的气温资料平均值作为参考, 对每个测站的温度序列进行距平处理, 这就要求每个测站的温度序列在1980~2009年中至少有27 a以上的夏季观测数据, 且每年夏季缺失记录少于5 d, 筛选后的130个有效温度站和160个云量站、65个辐射站的分布情况见图1。

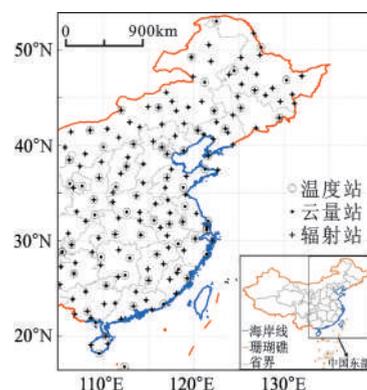


图1 研究区与站点位置

Fig.1 Study area and site locations

为了准确估算云量对辐射的影响, 以各自研

收稿日期: 2012-03-22; 修订日期: 2012-06-03

基金项目: 国家973项目(2012CB955302)、国家自然科学基金项目(40975043)资助。

作者简介: 郭元喜(1983-), 女, 山东章丘人, 博士研究生, 主要从事气候变化研究。E-mail: guoyx@mail.bnu.edu.cn

究时段内晴空的辐射平均值作为参考,对辐射数据也进行距平处理。

云量数据是目测得到的,其误差的控制及其对结果可靠性的影响是一个常为人们所诟病的地方。为降低误差,我们将云量数据进行分组处理,即:按照步长为1成,将云量从1~10成均匀地分成9个等级。然后,选择无雨日且有云(云量 ≥ 1 成)的情况作为研究对象,对气温、日较差及辐射的距平值与分组后的云量分别进行相关分析及回归分析,同时,计算出每组云量下,气温、日较差及辐射距平的平均值和标准误,这样,平均值可以反映这些指标随云量变化的总体特征,标准误可以反映结果的相对准确性。

需要指出的是:① 与日最高气温进行相关分析和回归分析时,采用白天云量;与日最低气温进行分析时,采用夜间云量;同理,与日平均气温、气温日较差进行分析时,采用每日平均云量。② 本文中的高云量是由总云量减去低中云量得到的。由于低中云的存在会对高云产生遮蔽,因此,为保证求出的高云量具有较高的可信度,我们在分析高云量与温度、日较差及辐射的关系时,仅讨论天空中只存在高云的情况,即低中云量 < 1 成的情况。

2 结果分析

2.1 云量与日最高气温

总云量与日最高气温之间具有非常显著的负相关关系,相关系数为 $-0.934 8$,达到 0.1% 信度水平。日最高气温随着总云量增加而呈现出比较一致的下降(图2a1):总云量小于3成时,日最高气温较无雨日平均值高 0.63°C ;总云量超过9成后,日最高气温较无雨日平均值低 1.37°C ,下降 2°C 。根据回归方程估算,总云量每增加1成,日最高气温下降约 0.219°C 。空间分布上(图3a1),除内蒙古二连浩特和海南海口外,其余128个测站的日最高气温全部随着总云量增加而下降,并且其中110个测站达到 5% 信度水平,比例高达 85.27% ,这说明:中国东部范围内,总云量对日最高气温具有一致的削弱作用。

总的来讲,低中云量与日最高气温之间存在非常显著的负相关,相关系数高达 $-0.974 7$,达到 0.1% 信度水平。如图2a2所示,日最高气温随着低中云量增加而一致下降:低中云量小于2成时,日最高气温高出无雨日平均值 0.61°C ;低中云量超过

9成后,日最高气温低于无雨日平均值 2.61°C ,下降约 3.22°C 。根据回归方程,低中云量每增加一成,日最高气温下降 0.367°C ,达到 0.1% 信度水平。空间分布上(图3a2),中国东部的日最高气温都随着低中云量增加而下降,其中下降最快的地方主要集中在东北东部、华北北部及长江中下游地区。

高云量与日最高气温之间存在显著负相关,相关系数为 $-0.743 7$,达到 5% 信度水平。从二者对应关系图上看(图2a3),有高云存在时,日最高气温普遍高于无雨日平均值,但是随着高云量增加,正距平会逐渐减小,出现这种现象的原因可能是:高云对白天最高气温的降温作用相对于中低云要小的多。回归关系表明,高云量每增加一成,日最高气温下降 0.087°C ,达到 5% 信度水平。中国东部范围内(图3a3),大部分地区的日最高气温都随着高云量增加而下降,尤其西南及长江中下游地区下降最明显。

2.2 云量与日最低气温

总云量与日最低气温之间存在显著正相关,相关系数为 $0.874 9$,达到 1% 信度水平。日最低气温随着总云量增加而上升(图2b1):总云量小于2成时,日最低气温较无雨日平均值偏低 0.22°C ;总云量超过6成后,日最低气温较无雨日平均值偏高 0.60°C 以上,上升了 0.82°C 。回归统计关系表明:总云量每增加1成,日最低气温上升 0.115°C ,达到 1% 信度水平。空间分布上(图3b1),日最低气温与总云量在北方以显著正相关为主,而且总云量每增加1成,日最低气温普遍增暖 0.20°C 以上;日最低气温与总云量在南方以负相关为主,但达到 5% 信度水平的不多,而且,当总云量每增加1成时,日最低气温下降幅度都不超过 0.17°C 。

低中云量与日最低气温之间存在负相关,相关系数为 $-0.240 7$,但在统计上并不显著,未达到 5% 信度水平。日最低气温与低中云量的关系非常复杂,呈现非线性变化(图2b2)。空间分布方面(图3b2),日最低气温与低中云量在北方以正相关为主,尤其东北地区,日最低气温普遍以高于 $0.10^{\circ}\text{C}/$ 成的趋势随低中云量的增加而显著上升;在南方,日最低气温与低中云量之间则普遍存在显著负相关关系,日最低气温大多以高于 $0.10^{\circ}\text{C}/$ 成的趋势随低中云量的增加而下降。

高云量与日最低气温之间存在显著正相关,

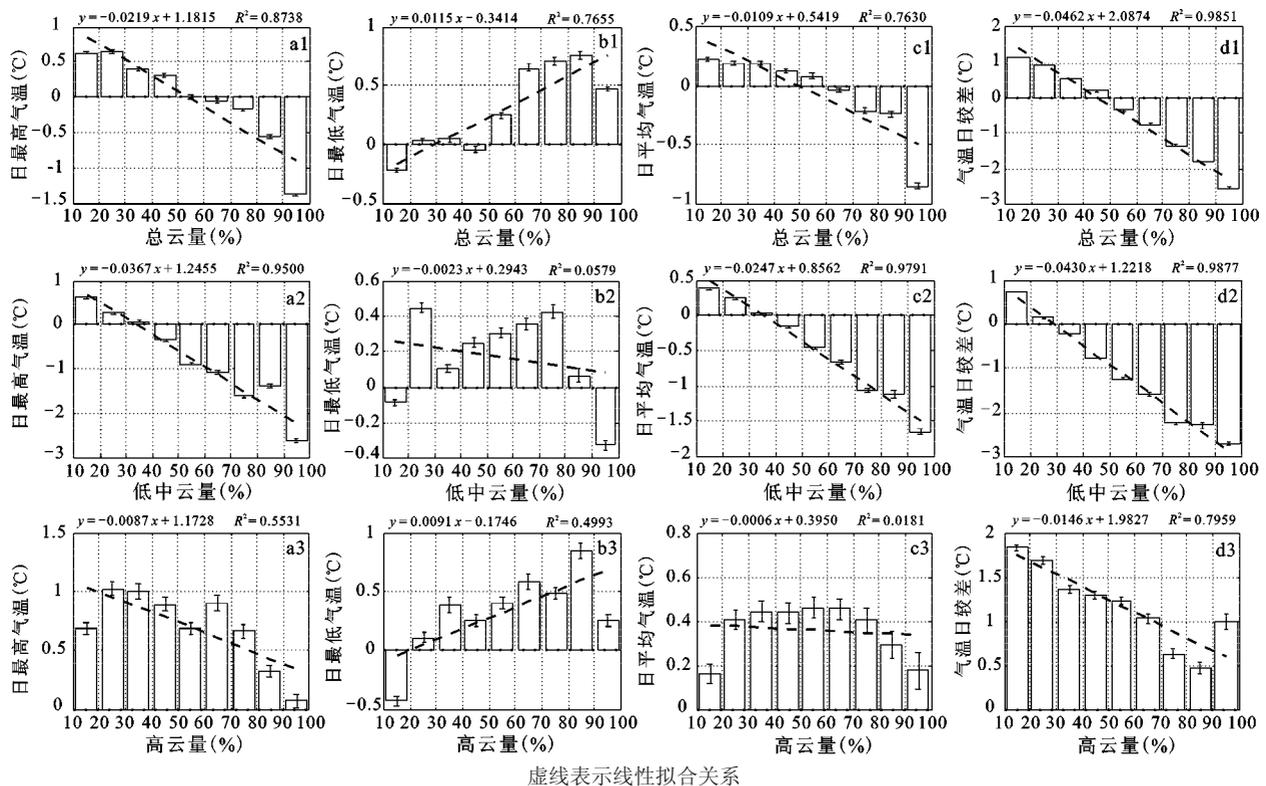


图2 日气温随云量变化的平均值、标准误差和线性拟合结果

Fig.2 Mean values, standard errors and fitting results of daily temperature change with cloud cover

相关系数为0.706 6,达到5%信度水平。日最低气温随着高云量增加而稳定上升(图2b3)。高云量每增加1成,日最低气温上升0.091℃。从空间分布来看(图3b3),中国东部各地的日最低气温大多随着高云量增多而上升,尤其东北及华北地区上升更加明显,回归系数普遍大于0.20℃/成。

2.3 云量与日平均气温

总云量与日平均气温之间呈现显著负相关,相关系数为-0.873 5,达到1%信度水平。日平均气温随着总云量增加而一致下降(图2c1):总云量小于2成时,日平均气温高出无雨日平均值0.22℃;总云量超过9成后,日平均气温低于无雨日平均值0.85℃,下降1.07℃。回归统计表明:总云量每增加1成,日平均气温下降0.109℃,达到1%信度水平。从空间分布特征看(图3c1),中国东部范围内,除东北西部、华北北部及海南岛外,其余地区的日平均气温均随着总云量增加而下降,其中以长江中下游地区下降最明显,下降趋势超过0.20℃/成。

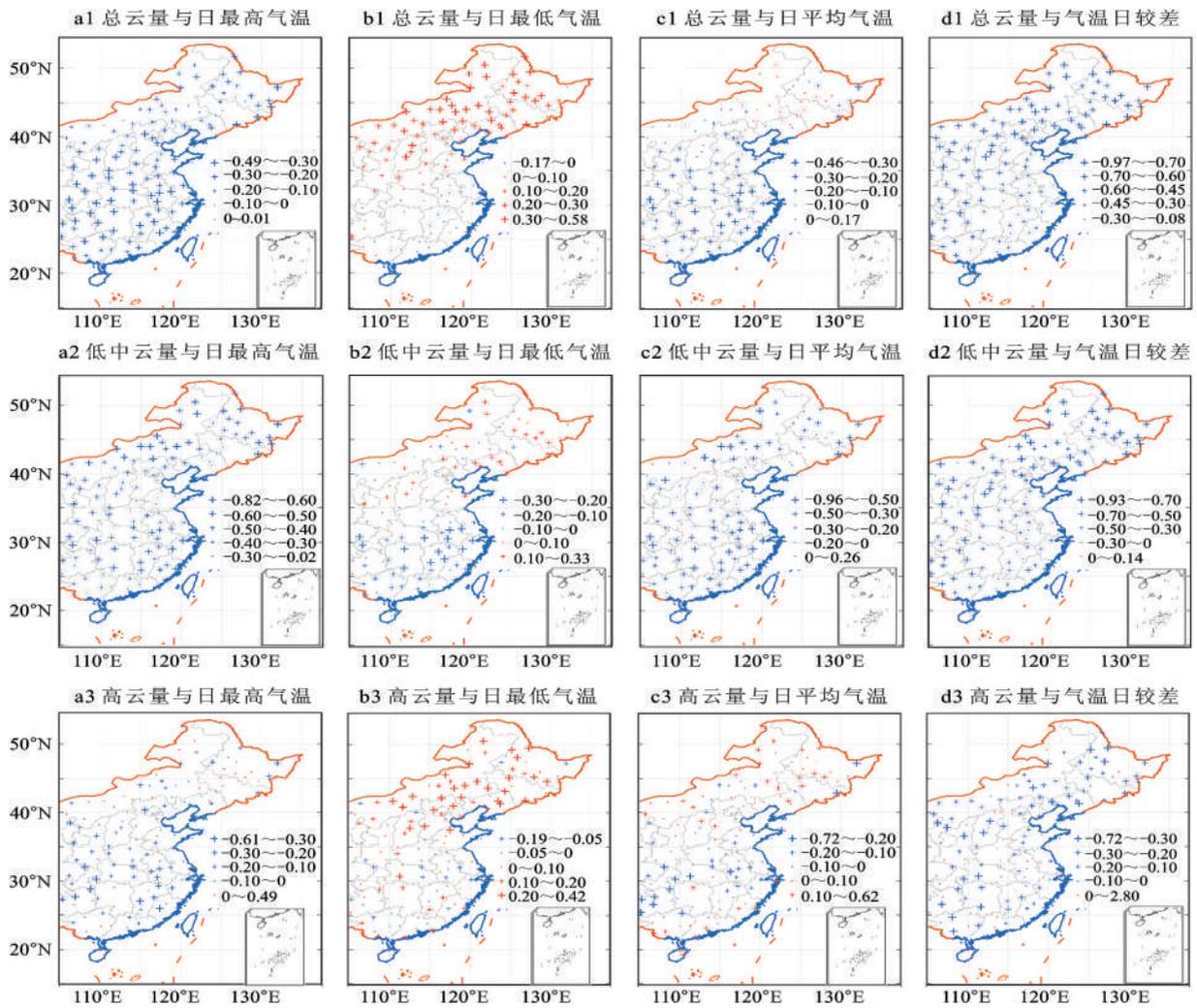
低中云量与日平均气温之间存在非常显著的负相关关系,相关系数高达-0.989 5,达到0.1%信度水平。日平均气温随着低中云量的增加而线性

下降(图2c2)。低中云量每增加1成,日平均气温下降0.247℃,达到0.1%信度水平。空间分布上(图3c2),除东北及华北的极少数地区外,整个中国东部的日平均气温普遍随着低中云量的增加而下降,下降最快的地区出现在东北北部、华北北部及长江流域中下游,可达0.30℃/成以上。

高云量与日平均气温之间呈现负相关,相关系数为-0.134 7,但在统计上并不显著。随着高云量增加,日平均气温呈现先上升后下降的变化(图2c3)。一元线性回归方程显示,高云量每增加一成,日平均气温下降0.006℃,未达到5%信度水平。从空间分布特征来看(图3c3),除东北、华南等少数地区外,其余地区日平均气温大多随高云增多而下降,以长江中下游下降最明显。

2.4 云量与气温日较差

总云量与气温日较差之间具有非常显著的负相关关系,相关系数高达-0.992 5,达到0.1%信度水平。如图2d1所示,区域平均的气温日较差随着总云量增加而呈现出一致的线性减小。总云量每增加一成,气温日较差减小0.462℃。出现这种现象的原因是总云量增多对日最高气温具有强烈的降温作用,同时对日最低气温具有强烈的保暖作



外圈表示信度达到5%信度水平

图3 日气温与云量回归系数的空间分布(°C/成)

Fig.3 Spatial distribution of regression coefficients between daily temperature and cloud cover

用。空间分布上(图3d1),中国东部130个测站的气温日较差全部随着总云量增加而显著减小,尤其东北、华北、西北等广大北方地区,其降温趋势通常超过0.45°C/成。

低中云量与气温日较差之间存在非常显著的负相关关系,相关系数高达-0.993 8,达到0.1%信度水平。总体上(图2d2),气温日较差随着低中云的增多而线性减小。回归分析表明:低中云量每增加一成,气温日较差减小0.430°C,达到0.1%信度水平。空间分布上(图3d2),除海南东方外,中国东部其余129个测站的气温日较差全部随着低中云量增加而显著减少。与总云量的情况类似,负相关关系最显著的地方主要集中在东北、华北、西北等北方地区。

高云量与气温日较差之间存在显著负相关,

相关系数为-0.892 1,达到5%信度水平。根据回归方程,高云量每增加一成,气温日较差减小0.146°C。从空间分布特征看(图3d3),中国东部范围内,高云量与气温日较差的关系以负相关为主,尤其在东北大部、华北北部、西北及长江流域中下游少数地区,这种负相关关系最明显。

3 原因探讨

云是影响辐射的重要因子,而辐射从根本上决定地气系统的能量平衡,进而影响温度,那么辐射是连接云量与温度、日较差的桥梁。为更好地理解云量、云高与温度的关系,我们进一步分析了它们与辐射的关系。结果表明(表1),总云量、低中云量以及高云量增多之所以会造成日最高气温、日平均气温下降,很大程度上是由于云量增多

表1 云量与辐射的相关系数、回归系数($J \cdot m^{-2} / 成$)

Table 1 Correlation coefficients and regression coefficients between cloud cover and solar radiation

		直接辐射	散射辐射	总辐射	净短波辐射	地面有效辐射	净辐射
总云量	相关系数	-0.9857 ^b	0.9982 ^b	-0.9646 ^b	-0.9378 ^b	-0.9737 ^b	-0.9682 ^b
	回归系数	-125.11 ^b	47.89 ^b	-84.57 ^b	-62.78 ^b	-22.21 ^b	-43.86 ^b
低中云量	相关系数	-0.9793 ^b	0.9865 ^b	-0.9732 ^b	-0.9591 ^b	-0.9873 ^b	-0.9914 ^b
	回归系数	-123.75 ^b	34.93 ^b	-100.55 ^b	-80.72 ^b	-31.22 ^b	-56.64 ^b
高云量	相关系数	-0.9828 ^b	0.9960 ^b	-0.9795 ^b	-0.9498 ^b	-0.8622 ^a	-0.9438 ^b
	回归系数	-121.26 ^b	59.56 ^b	-60.08 ^b	-43.55 ^b	-23.08 ^a	-26.43 ^b

注:a.信度在5%以上(包括1%在内);b.信度在0.1%以上

会造成地面总辐射和净辐射显著下降。总的来讲,云量增加会引起地面有效辐射显著减少,这可以解释为何中国东部北方大部分地区的日最低气温会随着云量增加而显著上升,却无法解释为何南方的日最低气温会随着云量增加而出现下降。以往有研究认为,云对夜间温度的变化可能不是一个重要因子^[5],而人类活动排放温室气体及气溶胶颗粒所产生的影响恐怕会更为重要^[7,16]。但这一解释并不适用于本研究,因为我们可以看到,云量与日最低气温的关系并非随机分布,而是北方普遍呈现显著正相关,南方大多呈现显著负相关。也有研究认为^[17],云量与日最低气温之间出现负相关的原因在于:白天云量增加使得地面得到的热量显著减少,这从根本上决定夜间其对大气加热的能力显著下降,而夜间云的温室效应带来的正相关影响相对较小。但这也无法解释南北差异,而且本文所用白天云量与夜间云量是分开的。可见,云与日最低气温之间的物理机制比较复杂,仍需进一步深入研究。

4 结 论

利用逐日气象资料对中国东部夏季云量与温度、云量与辐射的关系进行定量分析,得到以下结论:

1) 中国东部范围内,日最高气温、日平均气温普遍随着云量增多而显著下降,这与全国、北半球乃至全球的情况一致^[7,18-20]。究其原因,可能是由于云量增加导致到达地面的太阳总辐射和地表净辐射显著减少造成的。

2) 中国东部的日最低气温随云量增加所呈现出的变化具有南北差异:在北方,日最低气温大多随着总云量、低中云量和高云量的增加而显著上升;在南方,日最低气温随着总云量、低中云量的增加而显著下降,但与高云量的关系不是很明

确。造成这种现象的原因无法完全从云量影响辐射的角度加以解释,需要继续深入探讨。

3) 整个中国东部的气温日较差都呈现出随着云量增多而显著减小,而且云量每增加一成时,北方减小的幅度要大于南方,这主要是由于南、北方的日最低气温随云量变化不同所造成的。

参考文献:

- [1] John H S, Spyros N P. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change (2nd edition) [M]. New York: Wiley-Interscience, 2006: 761-818.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 275-279.
- [3] Lindzen R S, Chou M D, Hou A Y. Does the Earth Have an Adaptive Infrared Iris? [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001, 82(3): 417-432.
- [4] Lin B, Patrick M, Alice F. Cloud Liquid Water Path Variations With Temperature Observed During the Surface Heat Budget of Arctic Ocean (SHEBA) Experiment [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D14): 4427-4435.
- [5] Lin B, Wielicki B A, Chambers L H, et al. The Iris Hypothesis: A Negative or Positive Cloud Feedback? [J]. Journal of Climate, 2002, 15(1): 3-7.
- [6] 丁守国, 石广玉, 赵春生. 利用 ISCCP D2 资料分析近 20 年全球不同云类云量的变化及其对气候的可能影响 [J]. 科学通报, 2004, 49(11): 1105-1111.
- [7] 曾昭美, 严中伟, 章名立. 近 40 年我国云、日照、温度及日较差的统计 [J]. 科学通报, 1993, 38(5): 440-443.
- [8] 陈楠, 赵光平, 陈晓光. 近 40 年宁夏云量和气温年际变化的相关分析 [J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1176-1183.
- [9] 曹雪梅, 孙智辉, 雷延鹏, 等. 近 50 年陕西黄土高原云量和气温年际变化 [J]. 气象科技, 2010, 38(3): 311-315.
- [10] 严登华, 耿思敏, 罗先香, 等. 中国北方地区四季的时空演变特征 [J]. 地理科学, 2011, 31(9): 1105-1110.
- [11] 高蓉, 郭忠祥, 陈少勇, 等. 近 46 年来中国东部季风区夏季气温变化特征分析 [J]. 地理科学, 2009, 29(2): 255-261.
- [12] 任永建, 陈正洪, 肖莺, 等. 武汉区域百年地表气温变化趋势研究 [J]. 地理科学, 2010, 30(2): 278-282.

- [13] 薛红喜,孟丹,吴东丽,等.1959~2009年宁夏极端温度阈值变化及其与AO指数相关分析[J].地理科学,2012,32(3):380~385.
- [14] 周洪华,李卫红,杨余辉,等.干旱区不同土地利用方式下土壤呼吸日变化差异及影响因素[J].地理科学,2011,31(2):190~196.
- [15] 翟益茂,任福民.中国近四十年最高最低温度变化[J].气象学报,1997,55(4):418~429.
- [16] 赵宗慈.近39年中国的气温变化与城市化影响[J].气象,1990,17(4):14~17.
- [17] 李跃清.近40年青藏高原东侧地区云、日照、温度及日较差的分析[J].高原气象,2002,21(3):327~332.
- [18] Manabe S, Wetherald R T. Thermal Equilibrium of the Atmosphere With a Given Distribution of Relative Humidity[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1967, 24(3):241-259.
- [19] 傅逸贤,彭莹辉.云量在“地-气”系统净辐射中的作用[J].气象科学,1988,4:69~75.
- [20] 汪方,丁一汇.气候模式中云辐射反馈过程机理的评述[J].地球科学进展,2005,20(2):207~215.

The Statistical Relationship Between Summer Cloud Cover and Daily Temperature in Eastern China

GUO Yuan-xi, GONG Dao-yi, WANG Wen-shan, MAO Rui, HU Miao

(State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on the data of daily temperature from 130 meteorological stations of Eastern China in 1980-2009, statistical relationship between cloud cover and temperature on no rain conditions were quantitatively analyzed, and the reason was explained from the perspective of radiation. It was showed that daily maximum temperature and daily mean temperature in Eastern China decreased significantly with the increasing of cloud cover, which is mainly because solar radiation and surface net radiation decreased significantly due to increase of cloud cover. This is in consistent with the relationship between daily maximum temperature, daily mean temperature and cloud cover in the whole China, in the Northern Hemisphere and even in the Globe. Specifically, the daily maximum temperature and daily mean temperature would decrease by 0.219°C and 0.109°C respectively as the total cloud cover increased by each 10 percent. And also, when low and middle cloud increased, the daily maximum temperature and daily mean temperature would decreased by 0.367°C and 0.247°C respectively, and when high cloud increased, the daily maximum temperature and daily mean temperature would decreased by 0.087°C and 0.006°C respectively. This significant negative correlation between daily maximum temperature, daily mean temperature and cloud cover may be mainly caused by the reduction of surface solar radiation and surface net radiation. In the northern part of the study region, daily minimum temperature increased significantly with the increase of total cloud, low and middle cloud, or high cloud, and in the south, it decreased significantly with the increase of total cloud or low and middle cloud. But it shows no obvious relationship with the amount of high cloud. This phenomenon can hardly be explained simply from the aspect of radiation effect, because there is a significant negative correlation between cloud cover and surface effective radiation. It was found that diurnal temperature range in Eastern China was significantly decreased with the increase of cloud cover, and the rate of reduction in the north is faster than that in the south.

Key words: Eastern China; summer; cloud cover; temperature; diurnal temperature range; radiation