

赵娜, 刘树华, 杜辉, 等. 2012. 城市化对北京地区日照时数和云量变化趋势的影响 [J]. 气候与环境研究, 17 (2): 233-243, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2011.10140. Zhao Na, Liu Shuhua, Du Hui, et al. 2012. The effects of urbanization on sunshine duration and the trend of cloud cover amount variation in Beijing area [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 17 (2): 233-243.

城市化对北京地区日照时数和云量变化趋势的影响

赵娜^{1,2} 刘树华^{1,3} 杜辉⁴ 虞海燕^{1,2}

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系, 北京 100871

2 北京市气象局, 北京 100089

3 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029

4 Catalan Institute for Climate Sciences Doctor Trueta 203, Barcelona 08005

摘要 利用1961~2008年北京城区和郊区12个台站的气候观测资料, 采用趋势分析和累积距平的方法, 研究了北京城区和郊区近48年的日照时数、总云量及低云量的年际和四季变化趋势, 并探讨了城市化进程对日照和云量变化的影响。结果表明: 近48年来, 城区的总云量和日照时数呈减少趋势, 但低云量呈增加趋势; 郊区的总云量和低云量呈增加趋势, 而日照时数呈减少趋势; 具体到年代变化, 1980年代初以后, 城区总云量呈减少趋势, 且1990年代减少的趋势最为明显, 2000年后, 城区总云量变化发生逆转, 呈显著增加趋势。对于低云量, 1960年代到1980年代, 城区郊区低云量呈波动减少趋势, 而1990年代到2000年代后呈波动增加趋势。对于日照时数, 1960年代到1980年代城区郊区日照时数均呈增加趋势, 1990年代至2000年代则呈明显减少的趋势。低云量与日照时数表现出明显负相关特征, 这与北京城市化发展对区域气候的影响有密切的关系。

关键词 北京 日照 总云量 低云量 城市化

文章编号 1006-9585 (2012) 02-0233-11 **中图分类号** P461 **文献标识码** A
doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2011.10140

The Effects of Urbanization on Sunshine Duration and the Trend of Cloud Cover Amount Variation in Beijing Area

ZHAO Na^{1,2}, LIU Shuhua^{1,3}, DU Hui⁴, and YU Haiyan^{1,2}

1 *Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871*

2 *Beijing Meteorology Bureau, Beijing 100089*

3 *State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

4 *Catalan Institute for Climate Sciences Doctor Trueta 203, Barcelona 08005*

Abstract The authors study the seasonal and interannual variations of sunshine duration, total cloud cover amount, and low cloud cover amount in the past 48 years for both the urban and suburban areas in Beijing by utili-

收稿日期 2010-11-01 收到, 2012-02-19 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40875004, 中国科学院大气边界层物理与大气化学国家重点实验室开放课题 LAPC-KF-2009-04, 中国气象局北京城市气象研究所城市气象科学研究基金资助项目 UMRF-200702

作者简介 赵娜, 女, 1979年出生, 硕士研究生, 主要从事区域气候变化研究。E-mail: nana1997@sohu.com

通讯作者 刘树华, E-mail: lshuhua@pku.edu.cn

zing the observational data from 1961 to 2008 at 12 stations in the urban and suburban areas and by employing the methods of trend analysis and accumulation bias, and also discuss the effects of urbanization on the variations of sunshine duration and cloud cover amount. For the urban area, the results have shown a decreasing trend for the total cloud cover amount, but an increasing trend for the sunshine duration. For the suburban area, the results have shown an increasing trend for the total and low cloud cover amount, but a decreasing trend for the sunshine duration. In decadal scale for these variations, the total cloud cover amount for the urban area has decreased since the beginning of the 1980s, especially in the 1990s. After 2000, the total cloud cover amount for the urban area has reversed and increased significantly, however, the low cloud cover amount for both urban and suburban areas has shown a decreasing trend with fluctuation from the 1960s to the 1980s, but an increasing trend with fluctuation from the 1990s to the 2000s. The sunshine duration for both urban and suburban areas has shown an increasing trend from the 1960s to the 1980s, but a decreasing trend from the 1990s to the 2000s. The low cloud cover amount and the sunshine duration show a negative relationship. This is closely related to the effects of urbanization on regional climate.

Key words Beijing, sunshine duration, total cloud cover, low cloud cover, urbanization

1 引言

城市化发展对区域气候变化的影响是人们广泛关注的问题。随着城市化进程的加快,表现为森林和耕地面积的大量减少、城市面积的扩大、人口的增加以及人类活动所导致的大量温室气体的排放,这些因素对区域气候产生了一定的影响。受影响的气候要素除了温度和降水,还有日照时数和云量。其中,日照时数表征的是一天内太阳光线实际照射地面的时间,地面观测到的云量是云遮蔽天空视野的成数。

在过去的十几年,国内学者对中国不同区域的日照时数和云量的变化趋势做了大量的研究。这些研究包括对全国(张尚印等,2004;任国玉等,2005)、对区域(罗云峰等,2000;李跃清,2002;石慧兰等,2007;贾金明等,2007;许建明等,2010)、还有对城市(张运林等,2003;郭军和任国玉,2006;石慧兰等,2007)的研究。所有的这些研究都一致发现,在过去的近几十年,他们所研究的地区日照时数呈减少的趋势。例如,任国玉等(2005)的研究发现,近50年全国的平均日照时间呈显著下降趋势,且主要发生华北和东南部,尤其是华东地区。其它日照时间减少的地区和城市还包括河南(贾金明等,2007)、鲁西北(石慧兰等,2007)、西北地区(许建明等,2010)、华南地区(罗云峰等,2000)、太湖地区(张运林等,2003)、青藏高原(李跃清,2002)、德州市(石慧兰等,2007)和天津地区(郭军和

任国玉,2006)。上述研究也都分析了日照时数减少的可能原因是:(1)大气污染导致的气溶胶增加(罗云峰等,2000;任国玉等,2005;贾金明等,2007;石慧兰等,2007;许建明等,2010);(2)低云量的增加(张运林等,2003;石慧兰等,2007);(3)风速的减小(贾金明等,2007)。但大部分研究都把日照减小的原因归结为云量的增加,尤其是低云量的增加,还有大气污染物的增加。

对于全球云量的变化,IPCC第四次评估报告(IPCC,2007)指出,大约在1976~1984年期间,全球范围内总云量是减少的,而1984~2003年总云量则有增加的趋势。对于中国的云量的变化特征,也有一些相应的研究。例如,刘波等(2009)在对1960~2005年新疆气候变化的特征研究中指出新疆区域低云量增加,并可能导致降水量的增加。杜春雨等(2008)通过对10个城市近43年的气象要素变化特征的分析研究指出,1951~2004年哈尔滨、北京、乌鲁木齐和昆明总云量减少,但低云量增加,沈阳和广州的低云量增加,兰州、成都和武汉的总云量和低云量都减少。低云量在全球总云量中所占的比例最多,对地球能量平衡极为重要(丁守国等,2004),且低云量的变化对气温和降水都有直接的影响。

北京作为我国的首都和文化经济中心,城市的快速扩张、下垫面的变化和污染物的排放以及人口数量的不断增加,都不可避免的对北京的地区气候产生影响。近年来就城市化发展对北京区域气候影响方面的研究比较多(张光智等,2002;

林学椿和于淑秋, 2005; 季崇平等, 2006; 孙继松和舒文军, 2007), 尤其是针对温度、降水和热岛的研究较多, 但针对日照和云量变化的研究相对较少。因此, 我们在分析研究了北京近 48 年来城区和郊区气温、降水、相对湿度、风速的年际和四季变化趋势的基础上(赵娜等, 2011), 为全面了解北京城市化对各气象要素和区域气候的影响, 进一步对 1961~2008 年北京城区与郊区近 48 年的日照时数、总云量及低云量的年际和四季变化趋势进行分析研究, 并探讨北京城市化进程对日照和云量变化的影响。和前述的研究相比, 本研究试图分别用更多的资料(截至 2008), 分别分析城区站和郊区站的云量和日照的变化, 调查城市化对日照和云量的影响及其程度。

2 资料和方法

选取 1961~2008 年北京市朝阳、海淀、丰台、石景山、平谷、密云、延庆、上甸子、霞云岭、佛爷顶、汤河口、斋堂 12 个台站的月日照时数、月总云量和月低云量气候观测资料(其中海淀、石景山、汤河口、佛爷岭和斋堂从 20 世纪 70 年代中期开始观测, 资料时长为 31~35 年不等)。

随着北京城市化的发展, 有些站在早期属于郊区站, 但之后已成为城区或相当于城区站, 比如通州、大兴和门头沟站等, 如果单一的把这些站归类为城区站或郊区站, 势必会造成记录的不连续, 从而给分析结果造成偏差。因此, 本文以相对于北京主城区(城八区, 即东城、西城、崇文、宣武、海淀、朝阳、石景山和丰台)的距离划分, 把平谷、密云、延庆、上甸子、霞云岭、佛爷顶、汤河口、斋堂 8 个远离城区, 受城市化影响较小, 且周围人口密度较小的观测站作为郊区代表站, 而把海淀、朝阳、丰台、石景山 4 个测站作为城区站。郊区和城区的划分主要是考虑周围人口和建筑物的密集程度。而资料年限比较长的北京观象台, 因为有两处迁站的原因, 资料不一致, 因此在我们的研究中不予采用。这里不得不指出, 我们的划分方法还是不能从根本上克服资料的不均一性, 因为我们所划分的城区站,

在 1980 年代以前不能算是严格意义的城区站。这几个站点是在 80 年代以后随着北京城市化的发展才逐渐成为城区站的。

气候资料处理上, 按照气候学上常用的方法进行季节划分, 即春季 3~5 月、夏季 6~8 月、秋季 9~11 月、冬季 12~2 月, 对各气候要素量进行年平均和季节平均, 形成相应的资料序列, 采用线性趋势来分析年、季日照时数的变化趋势, 用一次回归系数作为气象要素变化的倾向率。应用累积距平法, 绘制累积距平曲线, 对日照时数和总云量及低云量的变化进行分析。

3 结果分析

3.1 总云量

图 1 是近 48 年北京城区和郊区总云量的年、季、年代际变化以及累积距平图, 表 1 和表 2 给出了具体变化的值, 而表 3 是线性回归信度检验的结果。从图 1a 可以看出近 48 年来地面观测到的城区总云量呈减少趋势, 减小幅度为 $-0.04 (10 a)^{-1}$ 。郊区总云量变化与城区不同, 1961~2000 年为小幅波动下降的趋势, 2000 年前后出现明显转折, 呈显著增加的趋势。而总体也呈增加趋势, 幅度为 $0.04 (10 a)^{-1}$ 。近 48 年来城郊平均总云量分别为 4.5 成和 4.6 成, 总体差异不明显。结合图 1g 可以看出, 虽然 48 年来城区总云量整体呈现减少趋势, 但存在两次明显波动上升阶段, 即 1962~1980 年和 2001~2008 年, 1981~2000 年间则呈明显下降趋势, 这与 IPCC 第三次评估报告(IPCC, 2001) 指出的全球月平均总云量增加的趋势在 1980 年代末期发生逆转的研究类似。郑思轶和刘树华(2008) 指出北京在 1961~2000 年城郊区平均气温均呈增加趋势, 且城区上升幅度更快; 城市化进程在 1970 年代末至 1980 年代初表现为快速发展阶段, 城市热岛强度增加。这说明在 1981~2000 年, 随着城市化建设的加快, 北京城区总云量的变化趋势与气温的变化趋势是相反的。而 2001~2008 年, 总云量的变化发生了逆转, 表现为快速上升的趋势, 这与丁守国等(2005) 提到的全球总云量在近几年平均气温增加的情况下呈现减少趋势的结果是不同的。

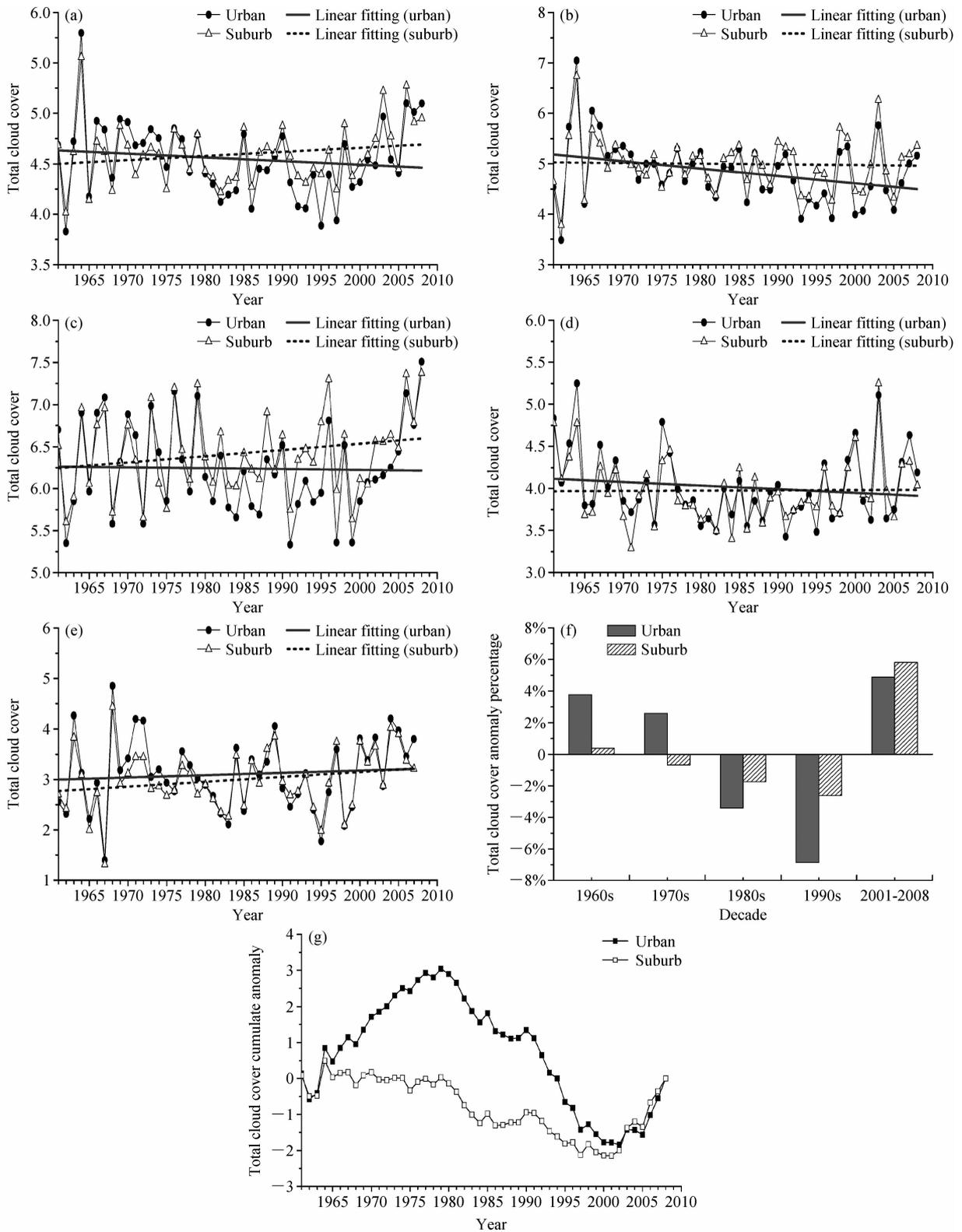


图 1 1961~2008 年北京总云量的年际、季节、年代际变化以及累计距平图：(a) 全年；(b) 春季；(c) 夏季；(d) 秋季；(e) 冬季；(f) 年代距平百分率；(g) 年累计距平

Fig.1 Annual, seasonal, interdecadal variations, and cumulate anomaly of total cloud cover in Beijing during 1961 - 2008: (a) Yearly; (b) spring; (c) summer; (d) autumn; (e) winter; (f) interdecadal anomaly percentage; (g) cumulate anomaly

表 1 不同年代城区和郊区平均总云量、平均低云量和平均日照时数及其变化率和距平值

Table 1 The mean, change rate, and anomalies of total cloud cover, low cloud cover, and sunshine duration in different decades in Beijing urban and suburban areas

	总云量						低云量						日照时数					
	平均(成)		变化率		距平值(成)		平均(成)		变化率		距平值(成)		平均/h		变化率		距平值/h	
	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区
1960 年代	4.72	4.61	3.77%	0.38%	0.17	0.018	1.55	1.56	-0.70%	-6.45%	-0.01	-0.11	2673.0	2692.3	5.82%	3.39%	147.09	88.34
1970 年代	4.67	4.56	2.60%	-0.68%	0.12	-0.03	1.59	1.54	1.99%	-7.42%	0.03	-0.12	2579.3	2623.2	2.12%	0.74%	53.44	19.30
1980 年代	4.39	4.51	-3.41%	-1.75%	-0.15	-0.08	1.44	1.66	-7.72%	-0.35%	-0.12	-0.01	2663.9	2675.8	5.46%	2.76%	137.99	71.85
1990 年代	4.23	4.47	-6.87%	-2.61%	-0.31	-0.12	1.60	1.72	2.18%	3.28%	0.03	0.05	2383.1	2565.2	-5.65%	-1.49%	-142.83	-38.78
2001~2008 年	4.77	4.86	4.89%	5.82%	0.22	0.27	1.64	1.89	5.31%	13.67%	0.08	0.23	2281.3	2428.1	-9.68%	-6.75%	-244.60	-175.89

表 2 北京城郊区年平均和四季的总云量、低云量和日照时数的变化率和 48 年的总变化

Table 2 The annual and seasonal changes of total cloud cover, low cloud cover, and sunshine duration for Beijing urban and suburban areas

	总云量/(10 a) ⁻¹		总云量/(48 a) ⁻¹		低云量/(10 a) ⁻¹		低云量/(48 a) ⁻¹		日照/h·(10 a) ⁻¹		日照/h·(48 a) ⁻¹	
	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区
年平均	-0.036	0.040	-0.2	0.2	0.02	0.09	0.1	0.4	-99.0	-58.5	-475.2	-280.8
春季	-0.14	-0.01	-0.7	-0.05	0.02	0.11	0.1	0.5	-17.7	-12.5	-85.0	-60
夏季	近似 0	0.07	近似 0	0.3	0.06	0.13	0.3	0.6	-44.4	-29.0	-213.1	-139.2
秋季	-0.04	近似 0	-0.2	近似 0	0.06	0.09	0.3	0.4	-22.9	-11.0	-109.9	-52.8
冬季	0.05	0.10	0.2	0.5	-0.05	近似 0	-0.2	近似 0	-13.6	-5.4	-65.3	-25.9

表 3 总云量、低云量和日照时数线性回归模型的信度检验

Table 3 Significance tests for the linear regression models of total cloud, low cloud, and sunshine duration

	总云量		低云量		日照时数	
	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区
年平均	x	x	x	95%	95%	95%
春季	95%	x	x	95%	95%	90%
夏季	x	x	x	95%	95%	95%
秋季	x	95%	x	95%	95%	95%
冬季	x	x	90%	x	95%	x

注：x 表示未通过信度检验。

关于城市化对总云量影响有以下几种观点，一种观点认为：气温升高，大气中的水汽含量多，同时大气层结稳定性减弱，对流活动更易产生，有利于云量的增多，因而在城市化发展迅速、平均气温显著增加的时间范围内，云量应该呈增加的趋势；另一种认为：温度升高，同时也提高了大气的饱和度，大气要达到饱和并凝结成云，就需要更多水汽才能实现，不考虑其他条件的影响，只要气温增加导致的水汽增量小于大气在新的温度条件下达到饱和所需水汽增量，云量非但不会

增加，还有可能减少，另外，由于近地层大气温度的增加幅度相同，对大气稳定度的影响不大。因此，即使排除其他因子影响，也不能简单的预期全球变暖将导致云量相应增加（丁守国等，2005）；还有的研究认为：人为气溶胶浓度增加，相应增加云凝结核（CCN）的浓度，可能形成更多寿命更长的云，从而使云量增加（Albrecht, 1989）。王群英和龚道溢（1999）发现从 1951 年起的近 47 年，华北地区的降水是减少的。在我们的结果显示，郊区的总云量是增加的。这也说明云量和降水的关系有很大的不确定性。但是近年来，在欧洲、东亚、东南亚和北美洲和人类活动的密集地区，总云量非但没有增加还有所减少（丁守国等，2005）。因而，城市化发展所造成的气温的升高和污染物浓度的增加都不能完全解释北京城区总云量的变化趋势，这也进一步佐证了 IPCC AR4（IPCC, 2007）里关于气溶胶对云变化的影响具有不确定性、云反馈是气候变化的一个不确定因素的论述。而且对于云量变化的研究，观测资料有很大的不确定性，这主要是因为对于云量的观测靠观测员目测估计，主观性比较大，

这给研究云量的变化带了极大的不确定性。

图 1b-e 分别为春、夏、秋、冬四季城郊总云量的变化趋势,表 2 给出了具体的数值,从图 1 和表 2 可以看出,城区总云量在春季和秋季均呈下降趋势,变化趋势分别为 $-0.14 (10 a)^{-1}$ 和 $-0.04 (10 a)^{-1}$,即春季减少最明显。夏季变化趋势近似为 0,冬季则有小幅回升,变化趋势为 $0.05 (10 a)^{-1}$;郊区总云量只在春季表现为小幅下降趋势,变化趋势为 $-0.01 (10 a)^{-1}$,夏季和冬季均为上升趋势,变化趋势分别为 $0.07 (10 a)^{-1}$ 和 $0.10 (10 a)^{-1}$,其中,冬季增加幅度最大,而秋季变化趋势近似为 0。从图 1 中还可以看出,春、秋、冬三个季节城区和郊区总云量的差异均不明显,而夏季城郊总云量在 1983~1998 年表现为较明显的差异,城区总云量在此期间显著下降,而 2000 年后城区和郊区都表现为迅速回升的趋势,这与图 1g 中城区在 1980 年前后和 2000 年前后发生的两次转折相一致,说明城区夏季总云量的变化对年变化的贡献更大。

图 1f 为近 48 年来城郊总云量的年代距平百分率变化。从图 1f 中可以看出,城区总云量在 1960 年代、1970 年代以及 2000 年代 (2001~2008 年,下同) 均为正距平,即呈增加趋势,1980 年代和 1990 年代为负距平,呈减少趋势;郊区总云量在 1960 年代和 2000 年代为正距平,1970 年代、1980 年代和 1990 年代均为负距平。城区和郊区总云量变化一致的是:1960 年代到 1990 年代都呈逐年代递减的趋势,且城区的减少幅度明显大于郊区,其中,1990 年代减少最明显,城郊分别比 1960 年代减少了 0.5 成和 0.1 成;而到 2000 年代,城郊总云量都出现明显的增长趋势,城郊平均总云量分别为 4.8 成和 4.9 成,比 1990 年代最低的时候分别增加了 0.6 成和 0.4 成。不同的是 2000 年代郊区总云量增加的幅度明显大于了城区。有一个可能原因是符合经济发展与环境质量的“U”型关系——环境库兹涅茨曲线规律,即经济发展到一定水平后,经济增长有助于改善环境质量(任春艳等,2006)。特别是 2001 年后北京开始筹备奥运会,采取了大量措施改善城市环境,同时,随着城市化的发展,人口、工业及房屋建筑逐渐由中心城区向近郊、远郊地区转移,可能在某种程度上增加了人为因素对郊

区总云量变化的影响。

这里我们必须指出的是,城郊区的年平均和四季总云量的变化,除冬季的城区和秋季的郊区,都没有通过信度检验,所以以现有的资料来看,总云量的变化确实有很大的不确定性。而且如前文所述,云量观测本身具有很大的不确定性,这给研究云量的变化增加了更多的难度和不确定性。

3.2 低云量

图 2 是近 48 年北京城郊区低云量的年、季、年代际变化以及累积距平图,表 1 和表 2 给出了具体变化的值,而表 3 是线性回归信度检验的结果。从图 2a 中可以看出,近 48 年来北京城区和郊区低云量均呈增加的趋势,分别增加了 0.1 成和 0.4 成,变化趋势分别为 $0.02 (10 a)^{-1}$ 和 $0.09 (10 a)^{-1}$,郊区的增加幅度明显大于城区。而且从表 3 可以看出,郊区的低云量的变化除冬季外都通过了 95% 的信度检验;而城区低云量的变化,只有冬季通过了 90% 的信度检验。城郊低云量的变化趋势与气温的变化趋势一致,与降水量的变化趋势则相反(郑思轶和刘树华,2008),即低云量的增加(减少)伴随着增温(冷却)效应。丁守国等(2004)中指出:低云量能反射大量的太阳辐射,而且由于它们的云顶温度与下界面相差不多,温度较高,对出射的长波辐射影响很小,其净效应是对其下的地表和大气起冷却作用。如果低云量增加,冷却作用增强,地表和大气可能变冷;反之,低云量减少,冷却作用减弱,地表和大气温度可能升高。城区和郊区近 48 年来的平均低云量分别为 1.56 成和 1.66 成,说明郊区比城区表现为更多的低云覆盖,其中城区低云量最多的年份是 1964 年(2.5 成),郊区最多的年份是 2003 年(2.28 成)。虽然城区和郊区 48 年来低云量整体呈增加趋势,但从图 2g 可以看出,城区和郊区都经历了两次波动减少的阶段,分别为 1964~1975 年和 1980~1989 年。其中,1964~1975 年郊区低云量减少幅度明显大于城区,而 1980~1989 年城区低云量减少的幅度更大。1990 年后城区和郊区都表现为波动增加的趋势,且郊区增加幅度大于城区,特别是 2003~2008 年城区和郊区低云量的增加趋势最明显,这和总云量的变化基本一致。对比总云量和低云量的变化,还可以看出,近 48 年来,北京城区总云量和低云量的变化

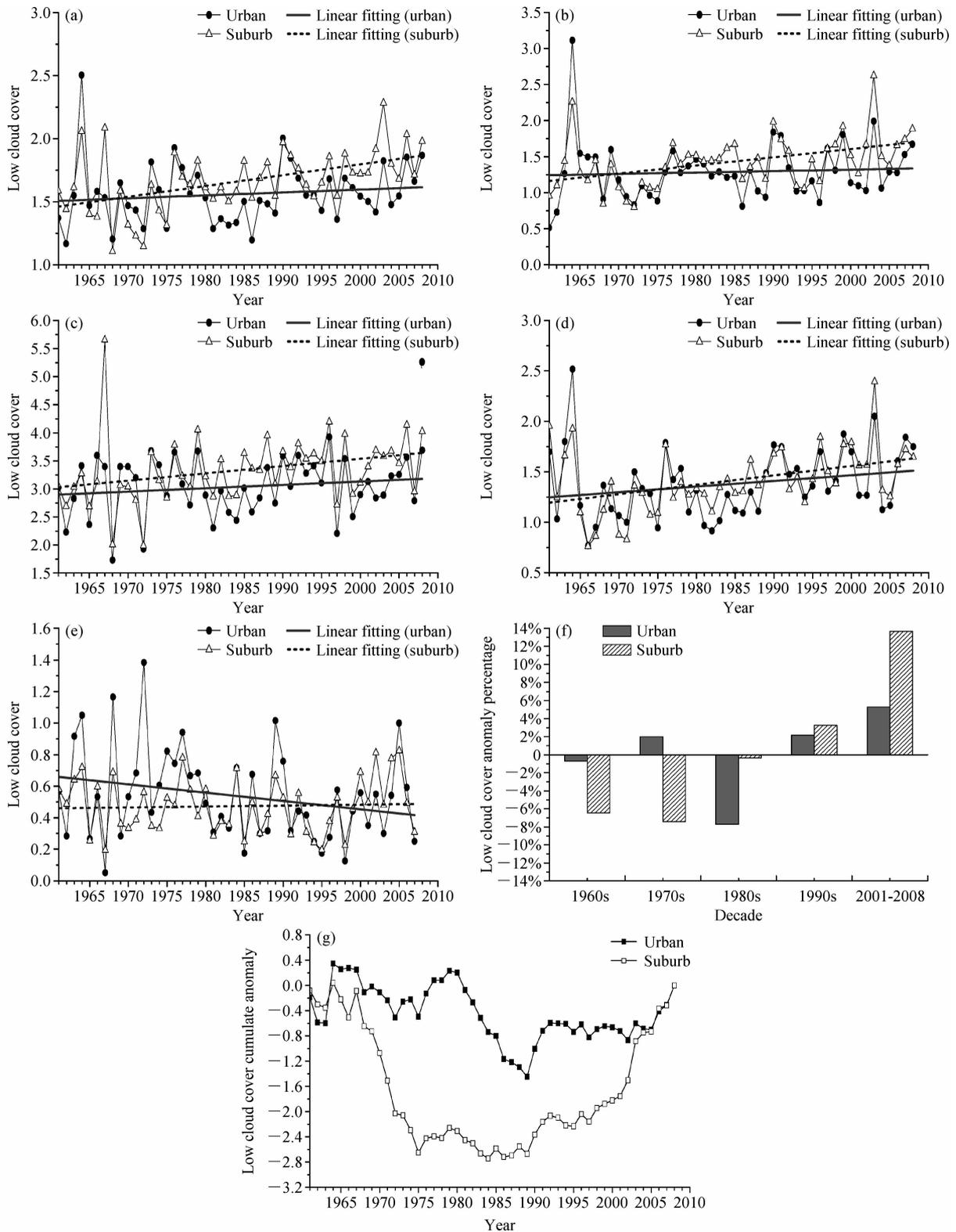


图 2 1961~2008 年北京低云量的年际、季节、年代际变化以及累计距平图：(a) 全年；(b) 春季；(c) 夏季；(d) 秋季；(e) 冬季；(f) 年代距平百分率；(g) 年累计距平

Fig. 2 Annual, seasonal, interdecadal variations, and cumulate anomaly of low cloud cover in Beijing during 1961-2008: (a) Yearly; (b) spring; (c) summer; (d) autumn; (e) winter; (f) interdecadal anomaly percentage; (g) cumulate anomaly

趋势相反,即总云量呈减少趋势,而低云量呈增加趋势;但郊区总云量和低云量的变化都呈增加的趋势。

图 2b-e 为低云量的季节变化,春季、夏季、秋季均呈增加趋势,其中城区夏、秋季增加最明显,增幅均为 $0.06 (10 a)^{-1}$,春季次之,增幅为 $0.02 (10 a)^{-1}$,冬季呈下降趋势,降幅为 $-0.05 (10 a)^{-1}$;郊区低云量在夏季增加最明显,增幅为 $0.13 (10 a)^{-1}$,春季和秋季次之,分别为 $0.11 (10 a)^{-1}$ 和 $0.09 (10 a)^{-1}$,冬季则无明显变化趋势。

图 2f 为低云量的年代距平百分率变化,可以看出,城区低云量在 1960 年代至 1980 年代波动明显,其中 1980 年代平均低云量比 1960 年代减少了 0.11 成,减少最明显;郊区在 1960 年代至 1980 年代均为负距平,但 1970 年代减少最明显,平均低云量为 1.54 成,且 1980 年代郊区低云量减少的幅度非常小,这与城区在 1980 年代的大幅度减少不同。进入 1990 年代后,城区和郊区均表现为明显的递增趋势,平均低云量分别为 1.64 成和 1.89 成,分别比 1960 年代增加了 0.09 成和 0.33 成,且郊区的增幅明显大于城区。对比总云量的年代变化还可以看出:1960 年代城区和郊区总云量增加而低云量减少;1970 年代城区总云量和低云量都增加,郊区总云量和低云量都减少;1980 年代城郊总云量和低云量均减少;1990 年代城郊总云量减少而低云量增加;2000 年代,城区和郊区总云量和低云量均表现为明显增加的趋势,且郊区的增幅明显大于城区。因而,城区和郊区的总云量和低云量变化并没有明显的相关性。

3.3 日照时数

近 48 年北京城区和郊区日照时数的年、季、年代距平百分率变化以及累积距平变化曲线见图 3,表 1 和表 2 给出了具体变化的值,而表 3 是线性回归信度检验的结果。从图 3a 中可以看出,近 48 年来北京城区和郊区年日照时数均呈明显的减少趋势,分别减少了 475 h 和 281 h,变化趋势分别为 $-99 h \cdot (48 a)^{-1}$ 和 $-58.5 h \cdot (48 a)^{-1}$,且城区日照时数的减少幅度远大于郊区。这与任国玉等(2005)指出的全国日照时数减少最明显的地区是华北和华东地区,在 $110^{\circ}E$ 以东 $40^{\circ}N$ 以南的广大平原地区年日照时数减少速率超过 80

$h \cdot (48 a)^{-1}$ 的结论基本相同,这可能与北京处在华北城市群有关。从表 3 可以看出,日照时数的较少趋势,除郊区冬季外,年平均和四季的城郊都通过了 95% 的信度检验。

从图 3b-e 即日照时数的四季变化来看,北京城区和郊区 48 年来日照时数四季均表现为减少趋势,与年变化一致。城区减少最明显的是夏季,其次为秋季、春季和冬季,减少趋势分别为 -44.4 、 -22.9 、 -17.7 、 $-13.6 h \cdot (48 a)^{-1}$;郊区同样是夏季减少最显著,其次为春季、秋季和冬季,减少趋势分别为 -29.0 、 -12.5 、 -11.0 、 $-5.4 h \cdot (48 a)^{-1}$ 。可以看出,夏季城区和郊区日照时数的减少幅度都远大于其他三个季节,而冬季城郊减少幅度都是最小的。这可能与夏季城郊低云量显著增加,而冬季城郊低云量减少或基本不变有关,低云量的增加减少了直射到地面的太阳光,还有可能的因素就是气溶胶的增加。

图 3f 为日照时数的年代距平百分率变化,可以看出:1960 年代到 1980 年代城郊日照时数均为正距平,日照时数偏多,进入 1990 年代后城郊日照时数显著减少,2000 年代减少最明显,城郊日照时数比常年分别减少了 244.6 h 和 175.9 h。这与全国平均年日照时数的变化不完全相同,全国日照时数在 1960 年代和 1970 年代为正距平,而 1980 年代和 1990 年代均为负距平,以后又略有上升(任国玉等,2005)。对比各年代云量和日照的变化可以发现,低云量和日照时数的变化除 1970 年代城区为正相关外,其它各年代均为负相关。所以低云量的变化是影响日照时数的一个重要因素。除此之外,比较图 2g 和图 3g 可以看出,1993~2005 年,城区的低云量基本无趋势变化,而与此同时,1990 年前后到 2008 年,城区的日照时数则呈近似单调递减的趋势。造成这种结果的原因可能是北京从 1970 年代末 1980 年代初开始进入快速城市化发展阶段,1990 年代后城市化的影响更加明显(郑思轶和刘树华,2008)。随着城市化影响的加剧,污染物浓度增加,能见度降低,太阳直接照射的时间减少,日照时数随之减少。所以对于城区,大气污染和低云量一样对日照时数都有明显的影响。日照时数年际变化幅度较大,48 年来城区峰值点(1962 年)与谷点(2003 年)

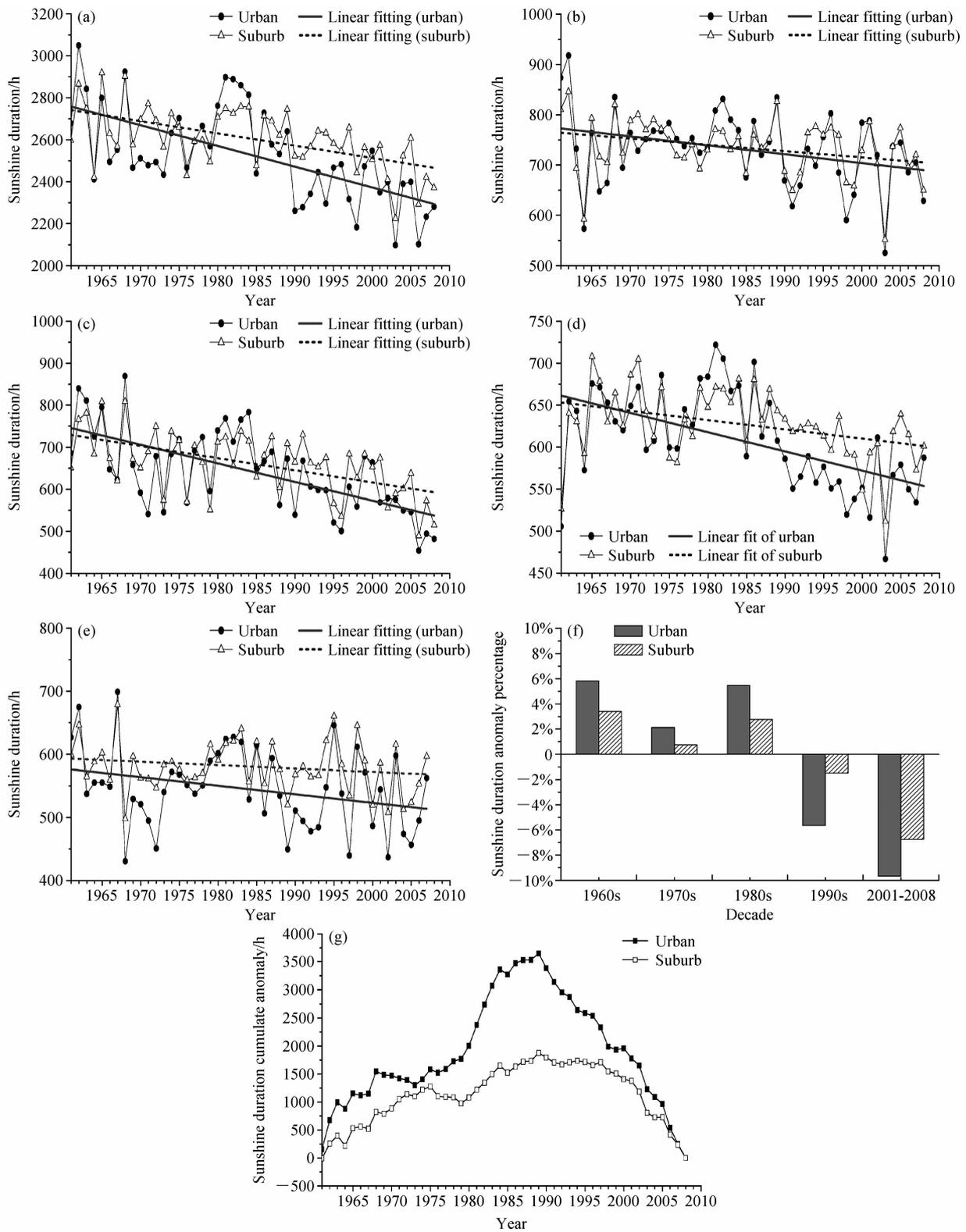


图 3 1961~2008 年北京总云量的年际、季节、年代际变化以及累计距平图：(a) 全年；(b) 春季；(c) 夏季；(d) 秋季；(e) 冬季；(f) 年代距平百分率；(g) 年累计距平

Fig. 3 Annual, seasonal, interdecadal variations, and cumulate anomaly of sunshine duration in Beijing during 1961 - 2008: (a) Yearly; (b) spring; (c) summer; (d) autumn; (e) winter; (f) interdecadal anomaly percentage; (g) cumulate anomaly

相差达到 951 h; 郊区峰值点 (1965 年) 与谷点 (2003 年) 相差达到 693.7 h, 且城区变化幅度明显大于郊区。从图 3g 可以看出, 北京城区和郊区日照时数 48 年来总体波动趋势相似, 均表现为 1961 年至 1990 年前后为波动上升, 1990 年后开始明显下降, 但城区的波动幅度更加明显。而且这里我们不得不再次强调, 云量的观测具有很大的不确定性, 因为很难得出可靠的关于云量的变化的结论, 进而就很难找出云量和日照的关系。

4 结论

通过对北京 1961~2008 年的总云量、低云量和日照时数的统计分析, 可以得出如下结论:

(1) 近 48 年来城区总云量呈减少趋势, 郊区呈增加趋势, 但变化幅度都比较小, 从年代变化来看, 城郊区在 1960 年代至 1990 年代均呈逐年代递减的趋势, 且城区的减少幅度明显大于郊区, 其中, 1990 年代减少最明显, 而到 2000 年代, 城郊总云量都出现明显的增长趋势, 且郊区增幅明显大于城区。

(2) 48 年来北京城区和郊区低云量均呈增加的趋势, 郊区的增幅明显大于城区。城郊低云量的年变化趋势与气温的变化一致, 与降水量的变化相反。城区夏、秋季低云量增加最明显, 春季次之, 冬季下降; 郊区的低云量夏季增加最明显, 春季和秋季次之, 冬季基本不变。通过对比城区郊区总云量和低云量的变化我们发现, 二者并没有明显的相关性。

(3) 北京城区和郊区年日照时数 48 年来均呈减少趋势, 且城区日照时数的减少幅度远大于郊区。从四季变化来看, 城区和郊区日照时数的变化与年变化一致, 即四季均表现为减少趋势, 且夏季城区郊区日照时数的减少幅度均远大于其他三个季节, 而冬季城郊减少幅度都是最小的。城区和郊区日照时数 48 年来的总体波动趋势相似, 即 1961 年至 1990 年前后为波动上升, 1990 年后开始明显下降。

(4) 低云量和大气污染物的浓度是影响日照时数的两个重要因素, 与日照时数呈明显负相关关系。

参考文献 (References)

- Albrecht B A. 1989. Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness [J]. *Science*, 245: 1227-1230.
- 杜春丽, 沈新勇, 陈渭民, 等. 2008. 43 a 来我国城市气候和太阳辐射的变化特征 [J]. *南京气象学院学报*, 31 (2): 200-207.
- Du Chunli, Shen Xinyong, Chen Weimin, et al. 2008. Urban climate and solar radiation changes in China in recent 43 years [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 31 (2): 200-207.
- 丁守国, 石广玉, 赵春生. 2004. 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可能的影响 [J]. *科学通报*, 49 (11): 1105-1111. Ding Shouguo, Shi Guangyu, Zhao Chunsheng. 2004. Analyzing the variations of different types of cloud cover amount and their possible effects on global climate change in the past 20 years by using ISCCP D2 data [J]. *Chinese Science Bulletin (in Chinese)*, 49 (11): 1105-1111.
- 丁守国, 赵春生, 石广玉, 等. 2005. 近 20 年全球总云量变化趋势分析 [J]. *应用气象学报*, 16 (5): 670-677. Ding Shouguo, Zhao Chunsheng, Shi Guangyu, et al. 2005. Analysis of global total cloud amount variation over the past 20 years [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 2005, 16 (5): 670-677.
- 郭军, 任国玉. 2006. 天津地区近 40 年日照时数变化特征及其影响因素 [J]. *气象科技*, 34 (4): 415-420. Guo Jun, Ren Guoyu. 2006. Variation characteristics of sunshine duration in Tianjin in recent 40 years and influential factors [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 34 (4): 415-420.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis* [C] // Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al., Eds. *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* [C] // Solomon S, Qin D, Manning M, Eds. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press.
- 贾金明, 吴建河, 徐巧真, 等. 2007. 河南日照变化特征及成因分析 [J]. *气象科技*, 35 (5): 655-660. Jia Jinming, Wu Jianhe, Xu Qiaozhen, et al. 2007. Features of sunshine duration variation and its cause analysis [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 35 (5): 655-660.
- 季崇萍, 刘伟东, 轩春怡. 2006. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究 [J]. *地球物理学报*, 49 (1): 69-77. Ji Congping, Liu Weidong, Xuan Chunyi. 2006. Impact of urban growth on the heat island in Beijing [J]. *Chinese Journal of Geophysics (in Chinese)*, 49 (1): 69-77.

- 林学椿, 于淑秋. 2005. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应 [J], 地球物理学报, 48 (1): 39 - 45. Lin Xuechun, Yu Suqiu. 2005. Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 48 (1): 39 - 45.
- 李跃清. 2002. 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, 21 (3): 327 - 331. Li Yueqing. 2002. Analyses of cloudiness, sunshine, temperature and daily range on the eastern side of Qinghai - Xizang Plateau in recent 40 years [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 21 (3): 327 - 331.
- 刘波, 冯锦明, 马柱国, 等. 2009. 1960 - 2005 年新疆气候变化的基本特征 [J]. 气候与环境研究, 14 (4): 414 - 426. Liu Bo, Feng Jinming, Ma Zhuguo, et al. 2009. Characteristics of climate changes in Xinjiang from 1960 to 2005 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (4): 414 - 426.
- 罗云峰, 吕达仁, 何晴, 等. 2000. 华南沿海地区太阳直接辐射、能见度及大气气溶胶变化特征分析 [J]. 气候与环境研究, 5 (1): 36 - 44. Luo Yunfeng, Lu Daren, He Qing, et al. 2000. An analysis of direct solar radiation, visibility, and aerosol optical depth in South China coastal area [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 5 (1): 36 - 44.
- 任春艳, 吴殿廷, 董锁成. 2006. 西北地区城市化对城市气候环境的影响 [J]. 地理研究, 25 (2): 233 - 241. Ren Chunyan, Wu Dianting, Dong Suocheng. 2006. The influence of urbanization on the urban climate environment in Northwest China [J]. Geographical Research (in Chinese), 25 (2): 233 - 241.
- 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 2005. 近 50 年中国地面气候变化基本特征 [J]. 气象学报, 63 (6): 942 - 956. Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi, et al. 2005. Climate changes of China's mainland over the past half century [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63 (6): 942 - 956.
- 石慧兰, 王新堂, 邵志勇, 等. 2007. 鲁西北 52 年日照变化特征及原因 [J]. 气象, 33 (2): 93 - 97. Shi Huilan, Wang Xintang, Shao Zhiyong, et al. 2007. Sunshine change characteristics and its causes in northwest Shandong for last 52 years [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 33 (2): 93 - 97.
- 孙继松, 舒文军. 2007. 北京城市热岛效应对冬夏季降水的影响研究 [J]. 大气科学, 31 (2): 311 - 320. Sun Jisong, Shu Wenjun. 2007. The effect of urban heat island on Winter and Summer precipitation in Beijing region [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (2): 311 - 320.
- 王群英, 龚道溢. 1999. 华北降水资源的变化及其与厄尔尼诺的关系 [J]. 自然资源学报, 14 (2): 103 - 108. Wang Guoying, Gong Daoyi. 1999. Variation of rainfall over North China and its possible connection to El Niño [J]. Journal of Natural Resources (in Chinese), 14 (2): 103 - 108.
- 许建明, 何金海, 阎凤霞. 2010. 1961 - 2007 年西北地区地面太阳辐射长期变化特征研究 [J]. 气候与环境研究, 15 (1): 89 - 96. Xu Jianming, He Jinhai, Yan Fengxia. 2010. Research on secular variation of solar radiation over Northwest China from 1961 to 2007 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (1): 89 - 96.
- 张尚印, 王守荣, 张永山, 等. 2004. 我国东部主要城市夏季高温气候特征及预测 [J]. 热带气象学报, 20 (6): 750 - 760. Zhang Shangyin, Wang Shourong, Zhang Yongshan, et al. 2004. The climatic character of high temperature and the prediction in the large cities of east of China [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 20 (6): 750 - 760.
- 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 2003. 太湖无锡地区近 40 年来日照的变化特征分析 [J]. 气象科学, 23 (2): 231 - 236. Zhang Yunlin, Qin Boqiang, Chen Weimin, et al. 2003. The analysis of variation characteristics of sunshine in the recent forty years in Wuxi region [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 23 (2): 231 - 236.
- 张光智, 徐祥德, 王继志, 等. 2002. 北京及周边地区城市尺度热岛特征及其演变 [J]. 应用气象学报, 13 (特刊): 43 - 50. Zhang Guangzhi, Xu Xiangde, Wang Jizhi, et al. 2002. A study of characteristics and evolution of urban heat island over Beijing and its surrounding area [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 13 (Suppl): 43 - 50.
- 赵娜, 刘树华, 虞海燕. 2011. 近 48 年城市化发展对北京区域气候的影响分析 [J]. 大气科学, 35 (2): 373 - 385. Zhao Na, Liu Shuhua, Yu Haiyan. 2011. Urbanization effects on local climate in Beijing in recent 48 years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (2): 373 - 385.
- 郑思轶, 刘树华. 2008. 北京城市化发展对温度、相对湿度和降水的影响 [J]. 气候与环境研究, 13 (2): 123 - 133. Zheng Siyi, Liu Shuhua. 2008. Urbanization effect on climate in Beijing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (2): 123 - 133.