

北京地区降水年际变化及其城市效应的研究*

于淑秋**

中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

摘要 用北京地区 20 个站近 41 年(1960—2000 年)年降水资料讨论了北京地区年降水量大尺度年际变化特征及局地年降水距平的城市效应, 主要结论有: (1) 北京地区年降水量具有大尺度变化特征, 其倾向率为 $-1.197/10a$, 相当于近 41 年北京地区年降水量减少了 27.82 mm; (2) 局地年降水距平百分比在城区附近为正距平中心, 形成城市雨岛, 其强度以 $0.6621\%/10a$ 增加, 城市雨岛的年际变化与北京地区年降水量的年际变化趋势相反; (3) 城市雨岛的变化还与天气过程强弱有关. 当天气过程强(涝年)时, 北京市区雨岛增强, 当天气过程弱(旱年)时, 北京市区雨岛消失.

关键词 城市雨岛效应 年际气候振荡 降水 北京市 大气科学

城市降水的分布和落区是一个比较复杂的问题. 它与盛行风、局地环流、地形、水域、建筑物和下垫面性质等都有密切的关系. 城市对局地降水量的影响及其物理机制, 在城市气候学研究中存在不少争议. 大致有 3 种不同的看法^[1]: 一是认为城市对降水无影响; 二是认为城市化有使降水增多的效应, 特别是在城市的下风区; 三是城市化反而使降水减少. 这些争论主要发生在 20 世纪 80 年代以前, 随着观测资料的延长、科学试验加密观测的增加以及数值模拟, 这 3 种看法逐渐趋于一致^[2-4], 即城市化有使降水增加的效应, 特别是城市的下风区, 被称为城市雨岛效应. 例如 Daniel^[5] 研究工作表明: 城市化和工业污染将造成下风区降雨、降雪的增加. Changnon^[6] 在美国 Illinois 州的厄巴拉 (Urbana) 市 25 km^2 的范围内布置 11 个雨量观测点, 取得 10 年的降水记录, 并绘制其年平均降水量分布, 证明城市对降水的影响, 在其下风区降水量最多.

20 世纪 80 年代以后, 我国的上海^[7]、北京^[8]、福州^[9]、兰州^[10] 等城市先后都作过城郊降水的对比研究, 大部分研究都证明了城市确有使降水增多的

效应, 但具体增加的量级和地区, 却因各城市所处的盛行风、局地环流、地形、水域以及下垫面不同而不同.

本文用北京市近 41 年(1960—2000 年)降水资料讨论北京地区降水的年际变化和城市化对降水的影响.

1 北京市降水年际变化

北京地区共有 20 个气象观测站, 其中 15 个站观测资料比较整齐, 都是 1960—2000 年, 共 41 年资料. 其他 5 个站是从 20 世纪 70 年代中期开始观测, 至 2000 年, 只有 23—27 年不等的资料, 为了补齐这 5 个站的资料, 用客观分析方法对它们进行内插. 北京站及邻近地区的 20 个站 41 年的降水记录, 至少包含了两种尺度的气候变化, 即大尺度的年际变化(或年代际振荡)和中小尺度的城市局地效应. 如何分离大尺度气候背景和局地变化, 是研究城市对降水影响的重要手段. 尺度分离的方法很多, 如滤波等. 这里采用林学椿等^[11] 在研究北京地区热岛所用的方法, 即用北京 20 个站 41(1960—2000) 年降水量(记为 R_{ij}) 资料, 对 20 个站年降水量作平

2006-06-09 收稿, 2006-10-13 收修改稿

* 国家重点基础研究发展计划(G1999045700)和科研院所社会公益研究专项(2005DIB3J057)研究项目共同资助

** E-mail: cep99@cams.cma.gov.cn

均, 得到北京地区年降水量序列(记为 R_j)代表大尺度降水量, 它的多年平均记为 R_m , 局地降水距平百分比(以下简称局地降水)则定义为

$$DR_{ij} = (R_{ij} - R_j) / R_m,$$

其中 $i = 1, 2, \dots, 20, j = 1, 2, \dots, 41$

现在先讨论北京地区大尺度年降水量(R_j).

为了讨论方便, 把北京地区年降水量序列转化为距平百分比序列(即 $(R_j - R_m) / R_m$), 图 1(a)为北京地区年降水量距平百分比的年际变化, 由图可见北京地区年降水量在不断的减少, 1980 年前以正距平为主, 气候阶段平均值为 4%; 1980 年后以负距平为主, 气候阶段平均值为 -4%, 这两阶段的差为 8%, 经 T 检验已超过了 1% 信度, 1980 年为跃变点. 倾向率为 -1.197/10a(图中实线).

为了说明北京地区年降水量具有大尺度特征. 在 37—45°N, 105—122°E 华北地区选取降水记录具有 35a 以上的 57 个站, 它们包括河北省的石家庄、张家口、承德; 山西省的大同、五台山; 内蒙古的朱日和、包头、锡林浩特、赤峰; 辽宁省的朝阳、锦州、大连; 宁夏的银川、盐池; 陕西的榆林、定边; 以及天津等省市. 图 1(b)为华北地区年降水量距平百分比的年际变化, 由图可见, 在 1980 年前以正距平为主, 气候阶段平均值为 3%; 1980 年后以负距平为主, 气候阶段平均值为 -4%, 这两阶段的差为 7%, 经 T 检验已超过了 1% 信度, 1980 年也为跃变点. 倾向率为 -1.817/10a(图中实线). 图 1 中的(a), (b)两张图非常相似, 它们之间的相关系数高达 0.8221, 超过 0.1% 信度; 若两个气候要素时间序列, 它们之间的相关系数超过某一信度(如 1%), 则可认为其中一个气候时间序列能

代表另一个序列, 说明北京地区年降水量能代表华北地区的年降水变化, 具有大尺度性质.

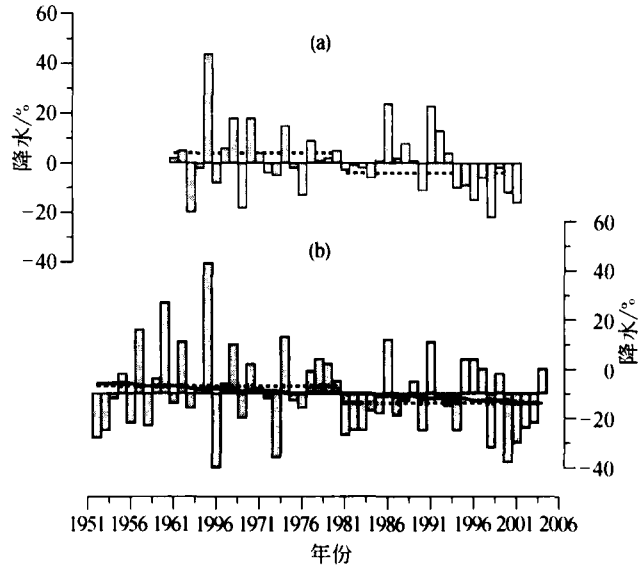


图 1 北京地区(a)和华北地区(b)年降水量距平百分比的年际变化

图中实线为倾向率, 虚线为跃变点和阶段平均值

北京地区年降水量多年平均为 581.0 mm, 而它的倾向率为 -1.197/10a, 即每 10 年以 1.197% 速度减少, 40 年共减少了 4.788%, 相当于减少了 27.82 mm, 表 1 给出了记录较好的几个代表站各年代的平均年降水量及 90 年代(1991—2000 年)与 60 年代(1961—1970 年)降水量之差, 由表可见 90 年代与 60 年代相比, 年降水量减少较多的站有: 丰台、门头沟、密云等站, 减少量都在 40 mm 以上; 北京站减少了 15 mm; 其他各站年降水量减少较少, 不足 10 mm; 也有个别站 90 年代年降水量比 60 年代增加的, 如上甸子站, 但增加幅度不大, 不足 10 mm.

表 1 北京地区几个代表站降水量(mm)的年代际变化

站名	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	90 60 年代降水量之差
北京站	583.6	567.4	579.9	568.3	-15.2
朝阳站	626.1	587.5	561.5	595.4	-30.6
丰台站	609.1	589.2	561.1	550.7	-58.3
门头沟站	637.3	569.8	569.8	591.4	-45.8
密云站	676.1	620.2	665.4	630.4	-45.6
上甸子站	604.3	642.2	647.7	611.6	7.3
霞云岭站	654.7	647.1	630.3	646.9	-7.8

2 北京地区降水分布的城市效应

现在来讨论局地年降水(即 DR_{ij})的变化特征.

对 DR_{ij} , 在 j 方向作平均, 得到 20 个站局地年降水的多年平均值, 这就是北京地区城市雨岛图(如图 2). 由图可见, 西北部山区局地年降水以负距平为主, 负距平中心分别在汤河口站(333 m)、延庆站(489 m)和西斋堂站(441 m), 中心强度分别为 -14% , -21% 和 -16% , 这些站都远离市区且海拔高度在 300 m 以上的山区站. 另一个负距平区在南部, 中心在大兴站, 强度为 -5% . 正距平区亦有两个, 一个正距平区在城区附近, 中心在门头沟站, 强度为 5% , 这个中心即为城市雨岛, 它和热岛中心并不重合而是略偏西; 另一个正距平区在城区的东北部, 中心在密云和怀柔附近, 强度为 12% , 为了讨论方便称其为怀柔局地多雨区. 这个图已扩展到了远郊区, 并且用了 40 年的长资料所得的结果. 它与过去的研究结果有所不同, 过去北京地区的雨岛效应研究用资料往往是短时期的城郊对比观测结果^[12], 即使用较长的资料, 其范围也只限于城区和近郊区^[7], 近郊区如丰台站、海淀站、石景山站和门头沟站等, 都已城市化, 不能反映郊区特征. 北京地区局地年降水的分布特征既反映了城市热岛效应的影响, 也和北京地区地形和盛行风有关.

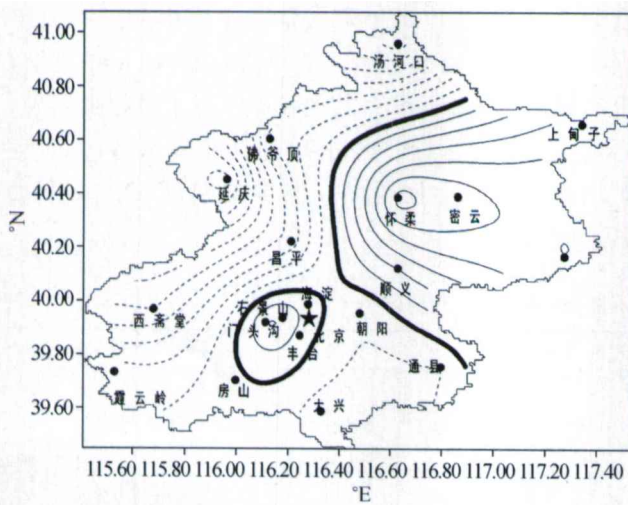


图 2 北京地区局地年降水距平百分比的多年平均
图中等值线每隔 2% 分析一条, 实线为正距平百分比线,
虚线为负距平百分比线, 粗实线为零线

城市影响降水可能有 3 方面的原因: 一是城市热岛效应. 它是城市影响降水最主要的原因. 城市热岛效应使在城区上空暖而轻的空气上升, 四周郊区的冷空气要向城区辐合补充, 形成明显的热岛辐合环流. 桑建国等^[13]指出, 城市热岛效应容易形成一个以市区为中心的低压系统以及指向市中心的气压梯度力, 形成热岛环流, 有利于对流降水的维持. 二是城市的阻碍效应. 城市因有高高低低的建筑物, 其粗糙度比郊区大, 它不仅能引起机械湍流, 而且还能对移动缓慢的降水系统(如静止锋、静止切变线, 缓慢移动的冷锋等)有阻碍作用, 使其移动速度减缓、增加滞留时间. 三是城市凝结核效应. 城市因生活、取暖以及工业化和交通运输等燃烧大量的化石燃料(如煤炭、煤气、石油等), 向大气排放大量的包括二氧化碳、甲烷在内的温室气体和气溶胶, 污染大气. 在这些污染物中, 含有大量的善于吸收水气的凝结核如硫酸盐、硝酸盐、碳酸盐等, 城区凝结核比郊区多, 有利于城区降水增多. 因此, 在图 2 中与城市热岛中心相对应的城区, 出现了以门头沟站为中心的雨岛.

北京市区位于华北平原北端, 城区范围地势平坦, 但其周围地形极为复杂, 北有燕山, 西部毗邻太行山, 作为上述山系余脉的军都山和西山山地与市区的高度差约 500—1000 m, 且距北京城区只有 30—40 km. 这种地形下, 北京地区经常形成山谷风, 白天偏南的谷风, 夜间是偏北的山风, 山谷风的风速一般为 2—4 m/s, 其厚度大致在 300 m 左右^[12]. 这种山谷风与北京地区热岛环流叠加后常形成比较特殊的局地环流场, 因此北京地区的局地降水分布特征受这种局地环流的影响. 在西北部山区因远离市区, 空气清洁, 热岛环流影响较少, 山谷风不明显, 故出现了较强的负距平区.

在城区的东北部的怀柔局地多雨区, 为较强的局地多雨区, 是否是城市影响结果, 存在不同看法. 作者认为这个局地多雨区是城市热岛效应在特殊地形下形成的. 由北京城市热岛图^[11]可见, 它类似于图 2 的局地降水分布, 北京城市热岛图是以市区为中心并向东北方延伸, 包括密云、怀柔在内都为局地高气温区; 北京地区年降水量约有 70% 集中在夏季(6—8 月), 其盛行风为夏季风, 即以南风或东南风为主. 在这种盛行风背景下, 与夜间偏北山

风和热岛环流的联合作用下,在城区至怀柔、密云方向形成辐合流场,加上该地区大片水域—密云水库,蒸发量大,水汽充足,形成较强的局地多雨区,即怀柔局地多雨区。

徐敏和蒋维楣等^[14]用一个三维非静力区域边界层模式(regional boundary layer model, RBLM)模拟北京地区2000年1月,3月和7月的气象环境特征并与实际观测资料作比较。主要模拟范围包括北京城区在内的200 km范围内的气流特征,水平网格距为4 km,垂直最小格距为20 m,垂直方向共30层,模式顶高5400 m。北京市下垫面的参数,如植被和建筑物的分布是由北京市测绘局提供的实际下垫面参数;在地面温度的预报方程中加入人为热源项,即在网格中放入单位时间消耗的煤和电所释放给大气的热量。通过分析北京20个测站的观测资料,在2000年1,3,7月3个月份各选取3天,应用RBLM模式作了3个48 h预报模拟,分别是1月27日08:00—1月29日08:00(北京时,下同),3月15日08:00—3月17日08:00和7月8日08:00—7月10日08:00。模式的初始场是利用观测资料内插得到。

夏季(7月8—10日)的模拟结果(见文献^[14]图4),近地层气流场特征表现为典型的山地—平原地形中尺度环流系统。在上午,市区的气流主要由偏北的下坡风气流构成,在中午前后,市区西北部气流是较弱的西南上坡风气流,东北部则是东北向的上坡风气流,市区南部主要是偏南气流,在整个市区风速都很小。从下午到次日凌晨,市区的主导风向是偏南风,在18:00时左右偏南气流最强,随后逐渐减弱,到次日05:00时左右,在市区出现很明显的城市热岛环流特征,市郊区的温差为5—6℃,地面气流在市区辐合,辐合中心与暖中心的位置重合,出现在北京海淀区附近。此外,由图可见密云附近也是一个高温区,该区地处山谷,其南面的偏南风与北面的偏北风在该地区辐合,其强度和范围都要比城区的热岛环流强和大,所以它形成的局地多雨区,要比平原地区城市热岛环流形成的多雨区还强且大。这个模拟虽然在热岛强度上比实际热岛强度要大^[11],但模拟的流场与上述分析很接近,也能较好地解释城区和怀柔局地多雨区的形成。此外,苗曼倩^[15]、刘洪利^[16]等的数值模拟也证

实,由于海风、(江)湖风环流与城市热岛效应之间存在相互增强的过程,使长江三角洲地区沿江一带容易形成水平风速辐合,使该地区降水增加。

为了进一步讨论局地年降水的年际变化,与文献^[11]一样选择北京站、海淀站、朝阳站、丰台站和门头沟站等站的局地降水的平均值代表城区局地降水,即雨岛强度的变化;选择密云站、怀柔站和顺义站的局地降水的平均值代表怀柔局地多雨区强度的变化;选择延庆站、霞云岭站、佛爷顶站、汤河口站和西斋堂站的局地降水的平均值代表西北山区降水变化。图3为这三个区局地降水距平百分比的年际变化。

由图3(a)可见,城区局地降水变化在60年代变化比较激烈,70—80年代变化比较平缓,至90年代变化又趋激烈,但其总趋势是增加的,其倾向率为0.6621%/10a,即每10年局地年降水量增加0.6621%,40年共增加2.6468%。城区局地降水趋势的增加,与北京城市化的结果是相一致的。大家知道,北京城市化的结果,使北京城区的温度上升,热岛环流加强,使城区局地降水量增多,但由于影响局地降水因子比较复杂,所以城区局地降水的年际变化要比城区局地温度变化复杂。北京地区大尺度降水趋势是减少的。由表1可见,北京站、朝阳站、丰台站和门头沟站90年代年降水量都比60年代显著的减少,两者变化趋势相反,说明城市化结果,使雨岛增强,可以滞缓近40年北京城区年降水量的减少。

在怀柔局地多雨区(图3(b))局地降水的变化成波浪式的上升,它的倾向率为1.6411%/10a,是城区的两倍以上,即每10年以1.6411%速度增加,40年共增加6.5644%。由表1也可看到该地区年降水量也呈减少趋势,正好与局地降水的变化相反,这也从另一个侧面证明:怀柔局地多雨区是与北京城市化影响的结果有关。

在西北山区(图3(c))局地降水成波动式的下降,其倾向率为-1.8205%/10a,即每10年局地降水以1.8205%速度减少。因为北京地区的西北部,远离城市,空气清洁,地处300 m以上的山区,热岛环流和山谷风的影响都比较小,所以该地区局地降水保持了与大尺度降水的减少趋势一致。

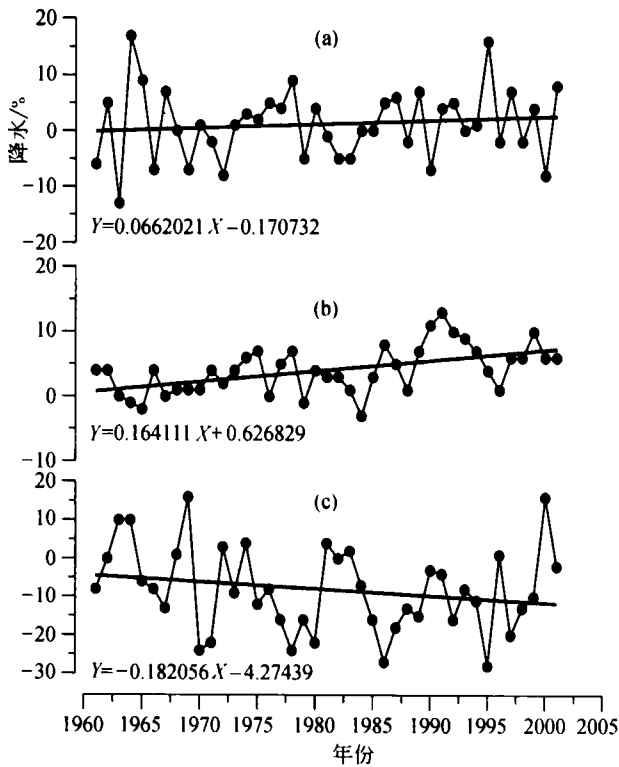


图 3 北京城市区(a)、怀柔区(b)和西北山区(c)局地降水距平百分比的 annual 变化

林学椿等^[17]在北京城市化进程与热岛强度关系的研究中曾指出：近 50 余年来北京城市人口增加了 6.5 倍，基本建设投资增加了近 390 倍，房屋增加 14 倍。北京城市发展指数的变化有二个基本特点：一是解放初至 20 世纪 60 年代初，在近 10 年时间内，城市规模有较快的发展，以后受“三年自然灾害”和“十年文革”的影响，北京城市建设缩减，发展较慢。二是改革开放以来，市政建设有了飞快的发展。无论基本建设投资增长率或房屋竣工面积增长率比之于改革开放前都成几十倍乃至百倍的增长。图 4 给出了 90 年代局地降水和 60 年代之差。由图可见，城区局地降水距平百分比在 90 年代比 60 年代增加，形成以门头沟站为中心的多雨区；同样怀柔局地多雨区的局地降水也增加，形成以怀柔为中心的多雨区；而西北山区局地降水 90 年代比 60 年代减少。

由于影响降水分布的因素较多，其过程也比较复杂，不少学者研究过天气过程强弱，在城市对降水影响中不同作用。例如周淑贞等^[1,6]用 1977 年(天气过程弱、上海干旱)和 1978 年(天气过程强、上

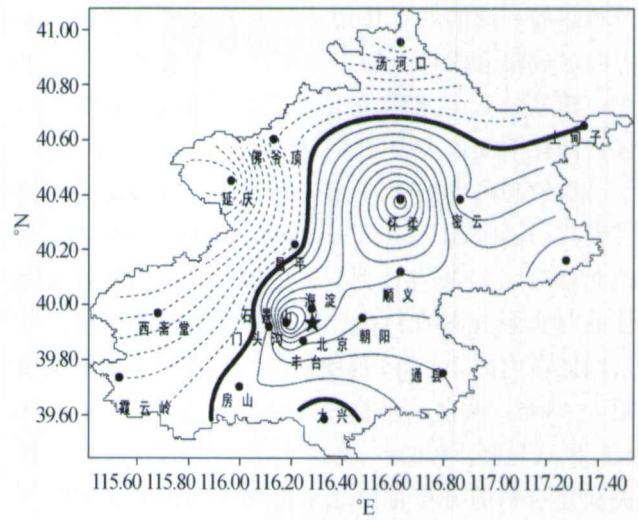


图 4 北京地区局地降水距平百分比 90 年代和 60 年代之差
图中每隔 1% 分析一条等值线，实线为正距平百分比线，
虚线为负距平百分比线，粗实线为零线

海洪涝)年降水量的对比分析，结果指出：上海城市对降水的影响在天气过程弱时表现明显，在天气过程强时，城市影响则显现不出来。

同样，在北京地区年降水量中(图 1a)选择 10 个最涝年和 10 个最早年，代表天气过程的强弱，分别对北京局地降水进行合成(如图 5(a), (b))。

涝年则表示该年冷暖空气交换频繁，天气过程强。最涝的 10 年是：1969 年、1964 年、1977 年、1973 年、1994 年、1998 年、1996 年、1990 年、1992 年和 1978 年。由它们的合成图(图 5(a))可见，非常类似于图 2，但强度增加。北京地区西北山区为负距平，中心分别在汤河口站、延庆站和西斋堂站；城区附近为正距平，中心仍在门头沟站，但强度已增至 8%；另一个怀柔局地多雨区，其中心仍在密云、怀柔附近，强度已增至 14%。

旱年则表示冷暖空气交换少，环流系统稳定，天气过程弱。最早的 10 年是：1965 年、1980 年、1999 年、1975 年、1981 年、1992 年、1997 年、2000 年、1972 年和 1974 年。它们的合成图(图 5(b))与图 2 差异较大。北京地区西南部为负距平，西北为正距平，图 2 中的城区正距平消失，被负距平代替；怀柔局地多雨区，其中心在怀柔站附近，强度已增至 16%。说明当天气过程强时，北京市区雨岛增强，当天气过程弱时，北京市区雨岛消失。

这个结果与文献[1]的结论不同，文献[1]指

出: 当天气过程强时, 上海市区雨岛减弱, 当天气过程弱时, 上海市区雨岛增强. 主要原因是与这两个城市所处的不同地理位置、受不同环流系统控制有关. 上海地处低纬度, 靠近海洋, 受副热带系统影响, 而北京地处内陆中高纬度, 受西风带影响. 此外, 本文所用的是 10 年的统计结果, 而文献[1]用几个个别年份的对比分析.

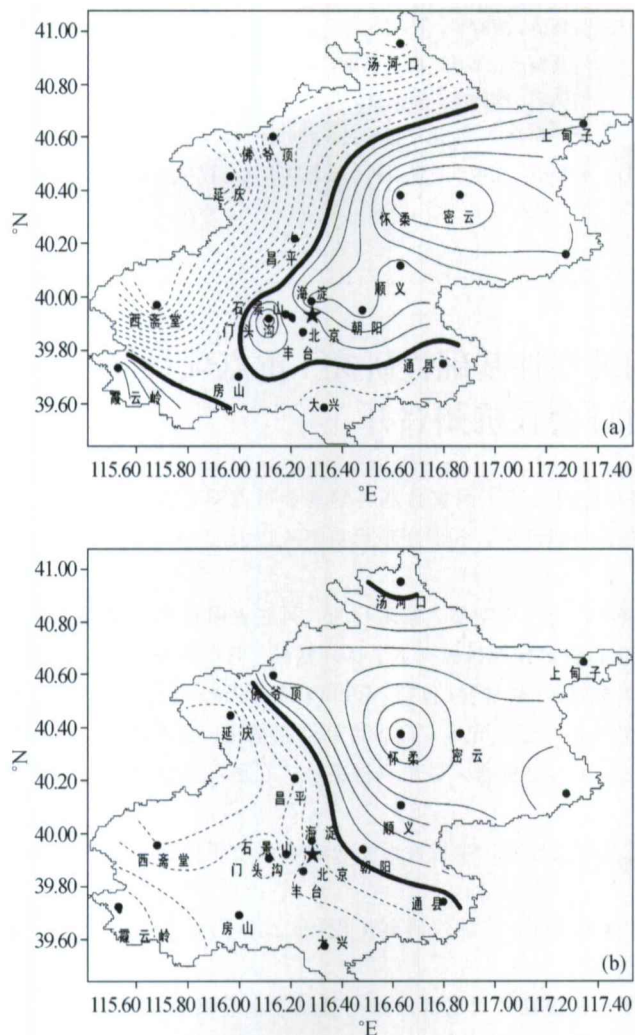


图 5 北京地区最涝 10 年(a)和最旱 10 年(b)的局地年降水距平百分比的平均

图中每隔 2% 分析一条等值线, 实线为正距平百分比线, 虚线为负距平百分比线, 粗实线为零线

3 结论

用北京地区 20 个站近 41 年(1960—2000 年)年降水资料讨论了北京地区年降水量大尺度年际变化

特征及局地年降水距平百分比的城市效应, 得到如下结论:

(1) 北京地区 20 个站平均年降水量具有大尺度变化特征, 能代表华北地区年降水量的变化. 近 41 年北京地区年降水在减少, 其倾向率为 $-1.197/10a$, 40 年共减少了 4.788%, 相当于减少了 27.82 mm, 年降水减少较多的站有丰台、门头沟、密云等站都在 40 mm 以上; 北京站也减少了 15 mm.

(2) 局地年降水距平百分比的多年平均有两个正距平区: 一个正距平区在城区附近, 中心在门头沟站, 强度为 5%, 即城市雨岛; 另一个正距平区在城区的东北部, 中心在怀柔附近, 强度为 12%, 怀柔局地多雨区. 该区是热岛环流和该地区的特殊地形相互作用的结果; 局地降水负距平区也有两个: 一个在西北部山区, 强度较强, 如延庆站强度为 -21% ; 另一个负距平区在南部, 中心在大兴站, 强度为 -5% .

(3) 用北京站、海淀站、朝阳站、丰台站和门头沟站等站的局地降水的平均值代表城区雨岛强度变化. 雨岛强度近 40 年呈上升趋势, 其倾向率为 $0.6621\%/10a$, 与城区附近大尺度年降水量呈减少趋势正好相反, 说明城市化结果, 使雨岛增强, 可以滞缓近 40 年北京城区年降水量的减少.

(4) 用密云站、怀柔站和顺义站等站的局地降水的平均值代表怀柔局地多雨区的变化, 该中心强度也呈上升趋势, 其倾向率为 $1.6411\%/10a$, 也和该地区大尺度降水年际变化趋势相反.

(5) 用延庆站、霞云岭站、佛爷顶站、汤河口站和西斋堂站等站的局地降水的平均值代表西北山区, 该地区局地降水呈下降趋势, 其倾向率为 $-1.8205\%/10a$, 与该地区大尺度降水变化趋势相同.

(6) 城市雨岛的变化还与天气过程的强度有关. 当天气过程强(涝年)时, 北京市区雨岛增强, 当天气过程弱(旱年)时, 北京市区雨岛消失.

参 考 文 献

- 1 周淑贞, 束 炯编著. 城市气候学. 北京: 气象出版社, 1991. 462--502
- 2 Palumbo A, Mazzarella A. Rainfall statistical properties in naples. Mon Wea Rev, 1980, 108(11): 1041-1045
- 3 Goldreich Y, Manes A. Urban effect on precipitation on patterns

- in the greater Tel-AVIV Area. Arch Met Geophys Biokl Ser, 1979, 27(3): 213—224
- 4 Rao AR. Stochastic analysis of annual rainfall affected by urbanization. J Appl Met, 1980, 19(1): 41—52
- 5 Daniel Rosenfeld. Suppression of rain and snow by urban and industries air pollution. Science, 2000, 287(10): 1793—1796
- 6 Changnon SA Jr. Precipitation changes in summer caused by St. Louis. Science, 1979, 205(9): 402—404
- 7 Zhou SZ. Five islands effects of Changhai urban climate. Science In China, Series b, 1990, 33(1): 67—78
- 8 北京市气象局气候资料室编著. 北京地区气候. 北京: 气象出版社, 1992, 50—57
- 9 陈千盛. 城市效应对福州市气候的影响. 气象, 1997, 23(1): 41—45
- 10 白虎志, 张焕儒, 张存杰. 兰州城市化发展对局地气候的影响. 高原气象, 1997, 16(4): 410—416
- 11 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应. 地球物理学报, 2005, 48(1): 39—46
- 12 周明煜, 曲绍厚, 李玉英, 等. 北京地区热岛和热岛环流特征. 环境科学, 1980, 1(5): 12—18
- 13 桑建国, 刘万军. 冬季城市边界层风场和温度场结构分析. 气象学报, 1990, 48(4): 459—468
- 14 徐敏, 蒋维楣, 季崇萍, 等. 北京地区气象环境数值模拟试验. 应用气象学报, 2002, 13(Suppl.): 61—68
- 15 苗曼倩, 唐有华. 长江三角洲夏季海陆风与热岛环流的相互作用及城市化影响. 高原气象, 1998, 17(3): 280—289
- 16 刘洪利, 李维亮, 周秀骥, 等. 长江三角洲地区区域气候模式的发展和检验. 应用气象学报, 2005, 16(1): 24—34
- 17 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 北京城市化进程与热岛强度关系的研究. 自然科学进展, 2005, 15(7): 882—886

国家自然科学基金“氧化锌材料及相关器件基础性研究”重点项目群 2006年度学术交流研讨会在杭州召开

2006年12月11—12日, 自然科学基金委工程与材料科学部在杭州召开了国家自然科学基金重点项目群“氧化锌材料及相关器件基础性研究”2006年度交流研讨会. 参加会议的代表包括特邀专家, 各课题项目负责人以及工程与材料科学部相关工作人员.

会议专家组认为, 1年来, 各课题组在 ZnO 单晶、外延薄膜制备, ZnO 中杂质、缺陷行为, 衬底表面和 ZnO 基异质界面性质, 特别在 ZnO 的 P 型掺杂等方面取得了可喜进展, 为实现本项目群的预期目标打下了良好基础. 但作为国际材料科学前沿研究热点的这一课题极富挑战性, 许多关键的科学与技术问题, 如 ZnO 基材料(包括 MgZnO 和 BeZnO 合金等)的 P 型掺杂、大尺寸高质量同质和异质衬底以及如何实现 ZnO 基器件的高效室温激子发光等, 尚未得到彻底解决. 鉴于该研究的重大科学意义和潜在的巨大应用价值, 目前, 国际竞争激烈. 为能抓住这一历史机遇, 尽快取得突破, 在国际该领域占有一席之地, 学术指导小组建议重视以下 4 个方面的工作.

1. 在解决高质量 ZnO 单晶薄膜制备的基础上, 重视非平衡态和非极性面、半极性面生长掺杂以及积极探索其他 P 型掺杂技术.

2. 尽快开展 ZnO 同质外延(大尺寸、高质量 ZnO 单晶衬底材料是基础, 应加快研制步伐)和 ZnO 同质 PN 结 LED 和量子阱(QW)LED 方面的工作, 争取实现电注入带边激子发光.

3. 在 ZnO 基材料的异质外延方面, 重点解决超薄中间层问题, 在提高外延层的质量的基础上, 开展掺杂和器件研究, 实现电注入带边激子发光.

4. 重视 ZnO 基量子阱材料和 QWLED 方面(如 P-MgZnO/ZnO/N-MgZnO 等)的研究, 其中的重点是解决不同组分的三元合金(Mg_xZn_{1-x}O 和 Be_xZn_{1-x}O 等)制备和 P 型掺杂问题.

重点项目群的模式使得同行之间可以就共同感兴趣的研究方向进行广泛交流, 有利于打破目前存在的同行之间的交流合作壁垒, 为科学家构建交流合作平台, 起到促进协同合作的作用, 在目前重大项目数目不多的情况下, 是一种值得探索的资助模式.

(供稿: 高瑞平 陈克新 苗鸿雁)