

李兴荣, 张小丽, 隋高林, 等. 深圳夏季典型晴天不同小气候区温湿及舒适度特征[J]. 气象, 2010, 36(10): 62-66.

深圳夏季典型晴天不同小气候区温湿及舒适度特征^{*}

李兴荣 张小丽 隋高林 陈启忠

深圳市气象局, 深圳 518040

提 要: 应用自动观测站资料, 分析了深圳城市、海洋、丘陵、山地等 4 个小气候区夏季典型晴天气温、湿度及舒适度特征。结果表明: 各小气候区气温、相对湿度存在显著差异, 它们的最小值、最大值、平均值及日变化存在明显不同。白天最高气温, 丘陵最高, 城市第二, 山地第三, 海洋最低。夜间最低气温, 海洋最高, 城市第二, 丘陵第三, 山地最低。各小气候区舒适度指数也存在显著差异, 它们的最小值、最大值以及日变化也存在明显不同。白天, 丘陵最热, 城市第二, 山地第三, 海洋最舒适。夜间, 海洋最热, 城市第二, 丘陵第三, 山地最舒适。

关键词: 小气候区, 气温, 湿度, 舒适度

The Characteristics of Temperature, Humidity and Comfort Index of Different Microclimate Zones on Typical Clear Days in Shenzhen in Summer

LI Xingrong ZHANG Xiaoli SUI Gaolin CHEN Qizhong

Shenzhen Meteorological Bureau, Shenzhen 518040

Abstract: Based on the data of automatic observation stations, the characteristics of the air humidity, temperature and comfort index of urban microclimate zone, marine microclimate zone, mountain microclimate zone, hilly microclimate zone on typical clear days in Shenzhen were analyzed. And the results show that: the characteristics of the air humidity, temperature and comfort index of the four microclimate zones are obviously different. The minimum, maximum, average and diurnal variations of the air humidity, temperature and comfort index of the four microclimate zones are significantly different. In the daytime, the highest temperature occurs in the hilly microclimate zone, the second highest in the urban microclimate zone, and the lowest in the marine microclimate zone. In the nighttime, the lowest temperatures of the marine, urban, hilly and mountain microclimate zones rank from high to low in correct order. In the daytime, the hilly microclimate zone is the hottest, the urban microclimate zone is the second, and the marine microclimate zone is the most comfortable. While in the nighttime, the marine microclimate zone is the most uncomfortable, and the urban microclimate zone is the second, the mountain microclimate zone is the most comfortable.

Key words: microclimate zone, air temperature, humidity, comfort index

引 言

19 世纪以来, 小气候的研究取得了丰硕的成

果, 至今研究人员已经对山地、农林、绿洲、湿地、湖泊、沙地、城市等各类小气候都开展了研究工作。如, 吉廷艳研究了贵州省低纬山地气候变化趋势^[1]。朱自玺等研究了麦田小气候特征^[2]。谢平等研究了

* 广东省气象局科学技术研究项目(2008C02)资助

2009 年 8 月 22 日收稿; 2010 年 4 月 26 日收修定稿

第一作者: 李兴荣, 从事中小尺度气象及热带气象研究. Email: lixr2033@yahoo.cn

海岸沙地防护林的小气候效应^[3]。冯起等研究了极端干旱地区绿洲小气候特征及其生态意义^[4]。张宇等研究了绿洲边缘夏季小气候特征^[5]。张艳武等研究了额济纳绿洲夏末典型晴天小气候特征^[6]。宝日娜等研究了达里诺尔湿地的小气候特征^[7]。卢兵等研究了鄱阳湖湖泊气候及其围垦后的变化^[8]。王敏仲等研究了南疆沙漠腹地夏季晴天的气象要素特征^[9]。李兴荣研究了北京的城市热岛效应及其影响因子^[10]。这些研究的特点是对某一类小气候区的气象要素特征进行专门研究。

深圳地处广东东南沿海,位于北回归线以南,属亚热带海洋性季风气候。陆域位置为 $22^{\circ}26'59''\sim 22^{\circ}51'49''N$ 、 $113^{\circ}45'44''\sim 114^{\circ}37'21''E$ 。地势东南高西北低,可概括分为半岛海湾带(南带)、海岸山脉带(中带)和丘陵地带(北带)三个地貌带。这 3 个地貌带形成 3 个小气候区,即北部丘陵小气候区、中部山地小气候区、南部半岛海湾带小气候区。不过,南部海湾带已经城市化,因此南部海湾带小气候区可看作城市小气候区。此外,深圳地处沿海,其南边的海洋可看作海洋小气候区。这样深圳地区粗略划分为丘陵、山地、城市及海洋等 4 个小气候区。把海洋单独划分为一个小气候区,目的在于研究海陆差异。本文综合研究这 4 个不同小气候区的气温、湿度及舒适度特征。特别要指出的是,当前海面上气象观测资料比较少,本文将海洋与陆地小气候区进行比较研究对于更深入了解海陆差异有重要意义。

1 观测资料及天气特征

观测资料来自各小气候区有代表性自动观测站。所用仪器是 Vaisala 6 要素观测仪。Vaisala 观测仪可以测量风向、风速、气温、雨量、气压和湿度。城市小气候区以城市气象观测站为代表站,其海拔高度 48 m,地理坐标是 $22^{\circ}33'N$ 、 $114^{\circ}06'E$;海洋小气候区以流花站为代表站,其海拔高度 20 m,地理坐标是 $20^{\circ}48'N$ 、 $115^{\circ}42'E$,它在距离深圳陆地约 200 km 的海洋上,自动观测仪器设在海上石油平台上;丘陵小气候区以黄龙湖站为代表站,其海拔高度 69 m,地理坐标是 $22^{\circ}46'N$ 、 $114^{\circ}14'E$;山地小气候区以三洲田站为代表站,其海拔高度 377 m,地理坐标是 $22^{\circ}36'N$ 、 $114^{\circ}16'E$ 。为了简略,下文“城市”表示城市小气候区,“海洋”表示海洋小气候区,“丘陵”表示丘陵小气候区,“山地”表示山地小气候区。

观测资料时段是 2007 年 7 月 21 日 21 时至 23 日 20 时,这期间深圳地区受西太平洋副热带高压控制,为夏季典型晴天天气。

2 夏季典型晴天不同小气候区气温、湿度及舒适度特征

2.1 夏季典型晴天不同小气候区气温特征

研究不同小气候区的气温特征,主要是比较研究各小气候区气温的最小值、最大值、平均值及日变化差异。

图 1 给出了 2007 年 7 月 21 日 21 时至 23 日 20 时各小气候区气温逐时(整点时刻,下同)变化。

由图 1 可知:海洋的气温在白天大部分时间低于城市和丘陵,午间至傍晚时段还低于山地,即午间至傍晚时段海洋的气温是 4 个小气候区中最低的。海洋的气温,在夜间和早晨大部分时间高于山地和丘陵,后半夜和早晨大部分时间还高于城市,即后半夜和早晨大部分时间,海洋的气温是 4 个小气候区中最高的。同一时间山地的气温总是低于城市和丘陵。城市气温在夜间和早晨高于丘陵,但在午后大部分时间低于丘陵。

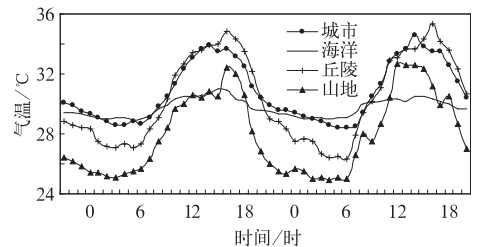


图 1 2007 年 7 月 21 日 21 时至 23 日 20 时各小气候区气温逐时变化

Fig. 1 Hourly variations of air temperature in four microclimate zones from 21 BT 21 to 20 BT 23 July 2007

表 1 给出了 22 日和 23 日各小气候区气温的最小值、最大值、日较差及 22 日 21 时至 23 日 20 时 48 小时的平均值等。

表 1 2007 年 7 月 21 日 21 时至 23 日 20 时各小气候区气温最小值、最大值和日较差等(单位:°C)

Table 1 Daily minimum temperature, daily maximum temperature and daily range in four microclimate zones from 21 BT 21 to 20 BT 23 July 2007 (unit: °C)

| 小气候区 | T_{\min} | | T_{\max} | | $(T_{\max} - T_{\min})$ | | \bar{T}_{48h} |
|------|------------|------|------------|------|-------------------------|------|-----------------|
| | 22 日 | 23 日 | 22 日 | 23 日 | 22 日 | 23 日 | |
| 城市 | 28.5 | 28.3 | 34.4 | 34.6 | 5.9 | 6.3 | 30.8 |
| 海洋 | 28.9 | 29.0 | 31.0 | 31.2 | 2.1 | 2.2 | 29.7 |
| 丘陵 | 26.9 | 26.2 | 35.1 | 35.7 | 8.2 | 9.5 | 30.4 |
| 山地 | 24.9 | 24.5 | 32.9 | 33.7 | 8.0 | 9.2 | 28.0 |

由表 1 可知:丘陵气温的日变化幅度最大,22 日是 8.2 °C,23 日是 9.5 °C;山地第二,22 日是 8.0 °C,23 日是 9.2 °C;城市第三,22 日是 5.9 °C,23 日是 6.3 °C;海洋最小,22 日是 2.1 °C,23 日是 2.2 °C。各小气候区气温的日变化,不仅海陆差异大,就是陆地的 3 个小气候区,差别也比较大。

此外,由表 1 可知:早晨各小气候区的最低气温,海洋最高,22 日是 28.9 °C,23 日是 29.0 °C;城市次之,22 日是 28.5 °C,23 日是 28.3 °C;丘陵第三,22 日是 26.9 °C,23 日是 26.2 °C;山地最低,22 日是 24.9 °C,23 日是 24.5 °C。城市最低气温,22 日比海洋低 0.4 °C,23 日低 0.7 °C;丘陵最低气温,22 日比海洋低 2.0 °C,23 日低 2.8 °C;山地最低气温,22 日比海洋低 4.0 °C,23 日低 4.5 °C。海陆之间最低气温的差异,只有城市与海洋的比较接近,而丘陵和山地与海洋的差异明显。3 个陆地小气候区的最低气温也有明显差异,特别是城市和山地的最低气温之差 22 日达到 3.6 °C,23 日达到 3.8 °C。夜间城市最低气温接近海洋,高于丘陵,原因是存在城市热岛效应,城市构筑物白天吸收太阳辐射储存的热量在傍晚后逐步释放出来,使城市气温的下降速度慢于丘陵。

白天最高气温,丘陵最高,22 日是 35.1 °C,23 日是 35.7 °C;城市第二,22 日是 34.4 °C,23 日是 34.6 °C;山地第三,22 日是 32.9 °C,23 日是 33.7 °C;海洋最低,22 日是 31.0 °C,23 日是 31.2 °C。白天最高气温,丘陵 22 日比海洋高 4.1 °C,23 日高 4.5 °C;城市 22 日和 23 日均比海洋高 3.4 °C;山地 22 日比海洋高 1.9 °C,23 日高 2.5 °C。海陆之间最高气温的差异明显,其中丘陵和海洋之间差异最为显著,城市和海洋之间差异第二,山地与海洋之间差异最小。3 个陆地小气候区的最高气温,丘陵比山地大 2.0 °C 以上,比城市大 1.0 °C 左右。此外,丘陵在 22—23 日均出现了 35 °C 以上的高温天气,而其它 3 个小气候区没有出现,表明丘陵最容易出现高温天气。

2.2 夏季典型晴天不同小气候区相对湿度特征

研究不同小气候区的湿度特征,主要是比较研究各小气候区相对湿度的最小值、最大值、平均值及日变化差异。

图 2 给出了 2007 年 7 月 21 日 21 时至 23 日 20 时各小气候区相对湿度逐时变化。

由图 2 可知:各小气候区相对湿度的日变化,具有相似的特征,白天降低,夜晚升高;最小相对湿度出现在白天,最大相对湿度出现在夜间。

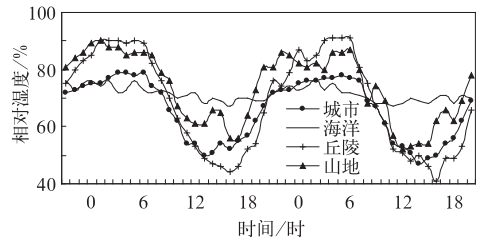


图 2 2007 年 7 月 21 日 21 时至 23 日 20 时各小气候区相对湿度逐时变化
Fig. 2 Hourly variations of relative humidity in four microclimate zones from 21 BT 21 to 20 BT 23 July 2007

表 2 给出了各小气候区相对湿度 22 日和 23 日的最小值、最大值、日较差及 22 日 21 时至 23 日 20 时 48 小时的平均值。

表 2 2007 年 7 月 21 日 21 时至 23 日 20 时各小气候区相对湿度最小值、最大值、日较差等 (单位:%)
Table 2 Daily minimum humidity, daily maximum humidity and daily range in four microclimate zones from 21 BT 21 to 20 BT 23 July 2007 (unit: %)

| 小气候区 | RH_{\min} | | RH_{\max} | | $(RH_{\max} - RH_{\min})$ | | \overline{RH}_{48h} |
|------|-------------|------|-------------|------|---------------------------|------|-----------------------|
| | 22 日 | 23 日 | 22 日 | 23 日 | 22 日 | 23 日 | |
| 城市 | 46 | 46 | 79 | 78 | 33 | 32 | 66 |
| 海洋 | 66 | 65 | 76 | 76 | 10 | 11 | 71 |
| 丘陵 | 42 | 40 | 90 | 91 | 48 | 51 | 69 |
| 山地 | 48 | 48 | 90 | 89 | 42 | 41 | 74 |

由表 2 可知:夜间各小气候区的最大相对湿度有显著差异。丘陵最大,22 日是 90%,23 日是 91%;山地第二,22 日是 90%,23 日是 89%;城市第三,22 日是 79%,23 日是 78%;海洋最小,22 日和 23 日均是 76%。海陆最大相对湿度,丘陵比海洋大 15%,山地比海洋大 14%,城市比海洋大 3%。陆地 3 个小气候区的最大相对湿度,丘陵和山地的相当,城市比丘陵和山地的小 12%。

白天各小气候区最小相对湿度也有明显差异,特别是海陆差异尤为显著。海洋的最大,22 日是 66%,23 日是 65%;山地第二,22 日、23 日均是 48%;城市第三,22 日、23 日均是 46%;丘陵最小,22 日是 42%,23 日是 40%。海陆之间最小相对湿度,海洋比丘陵大 25%,海洋比城市大 20%,海洋比山地大 18%。陆地 3 个小气候区的最小相对湿度,山地比丘陵大 7%,城市比丘陵大 5%。

此外,各小气候区相对湿度日变化幅度也明显不同。丘陵的日变化最大,约为 50%;山地第二,约

为 40%; 城市第三, 约为 30%; 海洋最小, 约为 10%。

2.3 夏季典型晴天不同小气候区舒适度特征

综合考虑气温和湿度对人体舒适度影响的指标中应用最多的要数 Thom 提出的不适指数 (Discomfort Index, 简称 DI)^[11]。这个指数也称为温湿指数 (Thermal Humidity Index, 简称 THI) 或舒适度指数 (Comfort Index, 简称 CI), 它的计算公式为:

$$THI = T - 0.55(1 - RH)(T - 58) \quad (1)$$

$$T = 1.8t + 32 \quad (2)$$

由式(1)、(2)得到:

$$THI = 1.8t - 0.55(1.8t - 26)(1 - RH) + 32 \quad (3)$$

式中 THI、T、RH、t 分别代表舒适度指数(°F)、华氏温度(°F)、相对湿度(%)和摄氏温度(°C)。实际计算发现式(3)不切合深圳地区实际情况, 由式(3)计算得到的舒适度指数, 日变化小, 难以区分, 而且所得结果, 数值偏小, 与国际上通行的舒适度指数与人体感觉程度的对应关系(见表 3)不符。原因在于式(3)较适用于中纬度地区, 而深圳靠近热带海洋, 夏季大气水汽含量大, 即使气温变化不大, 人体的感觉也会有很大变化, 为了充分体现气温与舒适度的这一关系, 也为了与国际上通行的舒适度指数与人体感觉程度的对应关系(见表 3)一致。有必要减小公式中湿度项的权重, 研究发现式(4)在深圳比较实用。

$$THI = 1.8t - 0.18(1.8t - 26)(1 - RH) + 32 \quad (4)$$

由式(4)计算得到 21 日 21 时至 23 日 20 时的各小气候区舒适度指数逐时变化如图 3。

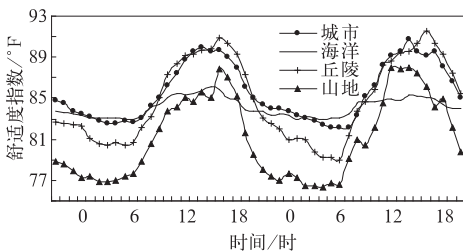


图 3 2007 年 7 月 21 日 21 时至 23 日 20 时各小气候区舒适度指数逐时变化

Fig. 3 Daily variations of comfort index in four microclimate zones from 21 BT 21 to 20 BT 23 July 2007

由图 3 可知, 各小气候区舒适度指数的日变化, 具有相似的特征, 白天升高, 午后达到最大值, 夜晚降低, 早晨达到最小值。白天各小气候区舒适度指数的最大值及夜间各小气候区舒适度指数的最小值

差异较大。以各小气候区整点时刻的舒适度指数来比较, 各小气候区白天最大舒适度指数, 丘陵的最大, 22 日是 91 °F, 23 日是 92 °F; 城市第二, 22 日是 90 °F, 23 日是 91 °F; 山地第三, 22 日和 23 日均为 88 °F; 海洋最小, 22 日是 86 °F, 23 日是 85 °F。夜间最小舒适度指数, 海洋最大, 22 日和 23 日均为 83 °F; 城市第二, 22 日是 82.5 °F, 23 日是 82 °F; 丘陵 22 日是 80 °F, 23 日是 79 °F; 山地 22 日是 77 °F, 23 日是 76 °F。各小气候区舒适度指数的日变化幅度也不同。丘陵的日变化最大, 22 日是 11 °F, 23 日达到了 13 °F; 山地第二, 22 日是 11 °F, 23 日是 12 °F; 城市第三, 22 日是 8 °F, 23 日是 9 °F; 海洋的最小, 22 日是 3 °F, 23 日是 2 °F。

此外, 为了方便实际中使用, 表 3 给出深圳夏季舒适度指数级别、指数范围及人体感觉程度等^[12]。

表 3 夏季舒适度指数分级

| Table 3 Grades of comfort index in summer | | |
|---|-------|--------------------------------|
| 级别 | 指数范围 | 感觉程度及相应的关照语 |
| 6 级 | 69~75 | 舒适, 大部分人感觉舒服。适合户外活动。 |
| 7 级 | 76~80 | 微热, 少部分人感觉不舒服。可适当进行户外活动。 |
| 8 级 | 81~85 | 较热, 大部分人感觉不舒服。应尽量减少户外活动。 |
| 9 级 | 86~90 | 炎热, 所有人均感觉不舒服。可能中暑, 要采取防暑降温措施。 |
| 10 级 | >90 | 酷热, 感觉很不舒服。容易中暑, 要采取防暑降温措施。 |

根据表 3, 将由式(4)计算得到的 21 日 21 时至 23 日 20 时各小气候区逐时的舒适度指数进行分级, 得到这期间各小气候区不同舒适度级别出现时次的频数分布, 见表 4。

表 4 2007 年 7 月 21 日 21 时至 23 日 20 时各小气候区不同舒适度级别出现时次的频数分布

| Table 4 Frequency distribution of comfort index grades in four microclimate zones from 21 BT 21 to 20 BT 23 July 2007 | | | | | | | | | | |
|---|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|------------|------|
| 小气候区 | 6 级 (69~75) | | 7 级 (76~80) | | 8 级 (81~85) | | 9 级 (86~90) | | 10 级 (>90) | |
| | 22 日 | 23 日 | 22 日 | 23 日 | 22 日 | 23 日 | 22 日 | 23 日 | 22 日 | 23 日 |
| 城市 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 14 | 10 | 9 | 0 | 1 |
| 海洋 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 24 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 丘陵 | 0 | 0 | 2 | 4 | 12 | 9 | 9 | 10 | 1 | 1 |
| 山地 | 0 | 0 | 12 | 13 | 9 | 6 | 3 | 5 | 0 | 0 |

由表 4 可知: 丘陵舒适度级别的日变化最大, 22 日和 23 日均从“微热”变化到“酷热”, 跨了 4 级。山地的舒适度级别的日变化第二, 22 日和 23 日均从“微热”变化到“炎热”, 跨了 3 级。城市的舒适度级

别 22 日“较热”变化到“炎热”，跨了 2 级，23 日从“较热”变化到“酷热”，跨了 3 级。海洋舒适度级别变化最平稳，23 日从“较热”变化到“炎热”，只有 2 级变化，23 日所有时次均为“较热”，只有 1 级变化。

午间至傍晚时段(10—20 时)，是一天中最热的时段，丘陵和城市达到“炎热”和“酷热”舒适度级别的时次接近，平均每天约有 10 个时次，只是丘陵比城市多一个时次“酷热”级别，丘陵和城市都很不舒适；山地部分时间“较热”，部分时间“炎热”，是第三不舒适的；海洋大部分时间均处于“较热”的级别，是最舒适的。丘陵是最有可能出现“酷热”天气的地方，而海洋是最不可能出现“酷热”天气的地方。

夜间时段(21 时至 7 时)，海洋全部时间都处于“较热”的级别，城市也是全部时间处于“较热”的级别。但海洋舒适度指数的最小值比城市大，因此夜间最不舒适的地方出现在海洋。而丘陵少部分时间为“微热”，大部分时间“较热”；山地全部时间为“微热”。因此，夜间，海洋最不舒适，城市第二，丘陵第三，山地最舒适。

3 结 论

通过对深圳地区城市、海洋、丘陵、山地等 4 个小气候区夏季典型晴天条件下的气温、湿度及舒适度特征的研究，发现海陆之间以及陆地 3 个小气候区之间的气温、相对湿度和舒适度均存在显著差异，具体结论如下：

(1) 各小气候区气温特征存在显著差别。白天最高气温，丘陵最高，城市第二，山地第三，海洋最低，丘陵最高气温比海洋高 4.0℃ 以上；夜间最低气温，海洋最高，城市第二，丘陵第三，山地最低，海洋最低气温比山地高 4.0℃ 以上。各小气候区气温的日变化，丘陵最大，可达 8.0℃ 以上，山地第二，城市第三，海洋最小，只有大约 2.0℃。

(2) 各小气候区相对湿度的特征存在显著差

别。夜间，各小气候区相对湿度，丘陵最大，山地第二，城市第三，海洋最小；白天，各小气候区相对湿度，海洋最大，山地第二，城市第三，丘陵最小。各小气候区相对湿度的日变化，丘陵最大，山地第二，城市第三，海洋最小。

(3) 各小气候区舒适度的特征存在显著差别。白天，最热的地方在丘陵，其次是城市，山地第三，海洋最舒适。夜间，最热的地方出现在海洋，城市第二，丘陵第三，山地最舒适。各小气候区舒适度指数的日变化，丘陵最大，山地第二，城市第三，海洋最小。丘陵是最有可能出现“酷热”天气的地方，而海洋是最不可能出现“酷热”天气的地方。

参考文献

- [1] 吉廷艳. 贵州省低纬山地气候变化趋势[J]. 山地学报, 2003, 21(4): 422-427.
- [2] 朱自玺, 赵国强, 邓天宏, 等. 覆盖麦田的小气候特征[J]. 应用气象学报, 2000, 18(增刊): 112-118.
- [3] 谢平, 李燕. 海岸沙地防护林的小气候效应[J]. 中国沙漠, 2001, 21(1): 93-96.
- [4] 冯起, 司建华, 张艳武, 等. 极端干旱地区绿洲小气候特征及其生态意义[J]. 地理学报, 2006, 61(1): 99-108.
- [5] 张宇, 吕世华, 陈世强, 等. 绿洲边缘夏季小气候特征及地表辐射与能量平衡特征分析[J]. 高原气象, 2005, 24(4): 527-533.
- [6] 张艳武, 冯起, 吕世华, 等. 额济纳绿洲夏末典型晴天小气候特征分析[J]. 高原气象, 2005, 24(4): 516-521.
- [7] 宝日娜, 杨泽龙, 刘启, 等. 达里诺尔湿地的小气候特征[J]. 中国农业气象, 2006, 27(3): 171-174.
- [8] 刘甜甜, 郭海峰, 禹伟, 等. 洞庭湖区的气温特征及其对湖南气温分布的影响[J]. 气象, 2008, 34(10): 108-114.
- [9] 王敏仲, 魏文寿, 何清, 等. 南疆沙漠腹地夏季晴天与沙尘日小气候观测对比分析[J]. 气象, 2008, 34(11): 7-14.
- [10] 李兴荣, 胡非, 舒文君. 北京夏季强热岛分析及数值模拟研究[J]. 气象, 2007, 33(6): 25-31.
- [11] Thom E C. The discomfort index[J]. Weatherwise, 1959, 12(2): 57-60.
- [12] Giles B D, Balafoutis C, Maheras P. Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988[J]. International Journal of Biometeorology, 1990, 34(2): 98-104.