

新疆典型绿洲冷岛和湿岛效应强度^{*}

杜铭霞 张明军^{**} 王圣杰

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘 要 基于 2012 年 4 月 1 日至 2014 年 3 月 31 日新疆典型绿洲(天山北坡西段绿洲、焉耆盆地绿洲、哈密盆地绿洲和叶尔羌河流域绿洲)与周边荒漠沙漠区的 79 个自动气象站日最高气温、最低气温、平均气温、降水量和降水日数,定量分析了不同研究区的冷岛和湿岛效应强度。结果表明:(1)天山北坡西段绿洲冷岛和湿岛效应均存在但表现强度较弱。(2)焉耆盆地绿洲冷岛效应明显,湿岛效应在降水日数和降水量指标上均有体现但强度较弱。(3)哈密盆地绿洲冷岛效应在夏、秋季最低气温和秋、冬季平均气温指标上表现明显,湿岛效应在四季降水日数上体现明显,秋季降水量回归拟合结果较好。(4)叶尔羌河流域绿洲的冷岛效应春、夏、秋季比冬季明显,湿岛效应春夏两季比秋冬两季显著。

关键词 新疆; 绿洲; 冷岛效应; 湿岛效应

中图分类号 p463 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2015)6-1523-09

The cold island and wet island effects of typical oases in Xinjiang. DU Ming-xia, ZHANG Ming-jun^{**}, WANG Sheng-jie (College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(6): 1523–1531.

Abstract: Based on the daily data of maximum temperature ($t_{\max}$), minimum temperature ($t_{\min}$), average temperature (t_{ave}), precipitation amount (p) and days (D) obtained from 79 automatic weather stations in the typical oases (including the oasis of the western section of the northern slope of the Tianshan Mountains, the Yanqi Basin Oasis, the Hami Basin Oasis and the Yarkant River Basin Oasis) and surrounding regions in Xinjiang from April 1, 2012 to March 31, 2014, the cold island and wet island effects were analyzed quantitatively. The results showed that: (1) Both cold island and wet island effects existed in the oasis of the western section of the northern slope of the Tianshan Mountains but presented weakly. (2) There was an obvious cold island effect in Yanqi Basin Oasis. The wet island effect could be seen from p and D , but it was weak. (3) The cold island effect in the Hami Basin Oasis was obvious on the indexes of $t_{\min}$ in summer and autumn and t_{ave} in autumn and winter. The wet island effect could be seen obviously from D in four seasons. The result of p regression analysis in autumn was good. (4) In the Yarkant River Basin Oasis, the cold island effects in spring, summer and autumn were stronger than in winter. The wet island effects in spring and summer were more obvious than in autumn and winter.

Key words: Xinjiang; oasis; cold island effect; wet island effect.

DOI:10.13292/j.1000-4890.2015.0132

绿洲生态系统在对抗干旱气候环境过程中使气温、降水、风速等诸多气候因子发生变化从而表现出一系列独特的小气候特征,统称为“绿洲效应”(杨青等 2004)。绿洲气候效应从 20 世纪 80 年代起在国内外被广泛研究,Oke(1987)指出植被蒸发使得

绿洲与荒漠气候具有差异性,Kai 等(1997)提出白天的辐射差异是导致绿洲气候效应的关键因素。近年来,随着对绿洲气候效应认识的进一步深入,研究人员对以色列(Saaroni *et al.*, 2004; Potchter *et al.*, 2008; Potchter *et al.*, 2012)、埃及(Domroes *et al.*, 2005)、叙利亚(Brunel *et al.*, 2006)、阿曼(Siebert *et al.*, 2007)等地的绿洲气候也进行了分析。中国西北地区是世界上绿洲分布的重要区域。国内最早由

^{*} 国家自然科学基金项目(41161012)和全球变化重大科学研究计划项目(2013CBA01801)资助。

^{**} 通讯作者 E-mail: mjzhang2004@163.com

收稿日期: 2014-10-11 接受日期: 2015-01-30

高由禧(1989)在干热风研究中初步观测到“绿洲效应”苏从先等(1987a, 1987b)在河西绿洲水热平衡研究中首次提出绿洲“冷岛效应”概念,先后开展的“HEIFE”(胡隐樵等,1994;胡隐樵,1994)实验、金塔(陈世强等,2005;奥银焕等,2005)实验等对典型绿洲的大气监测研究均证实了绿洲相对于沙漠而言具有冷湿的区域气候特点,此外,基于MM5(陈玉春等,2004;吕世华,2004;Gao *et al.*, 2004;文莉娟等,2006)、WRF(文小航等,2010, 2014)等一系列气候模式的数值模拟手段(Chu *et al.*, 2005;Liu *et al.*, 2007;刘树华等,2009)和遥感技术手段(师庆三等,2006;马勇刚等,2007b;潘竟虎等,2010;孟宪红等,2012;李润林等,2014)也逐渐被运用于绿洲效应的研究中。需要指出的是,在国内外的相关研究中,从冷岛和湿岛效应的最初发现到实验观测,再到模拟及遥感研究,大多都由于早期大规模地面监测资料的不足而集中在了单站点、单区域的定性分析上,典型的有新疆的奇台(师庆三等,2006)、于田(马勇刚等,2007a)、库车(满苏尔·沙比提等,2008)、策勒(王兮之等,2002);内蒙古的额济纳(吕忠杰等,2014);甘肃的民勤(颌耀文等,2004;Li *et al.*, 2013)、敦煌(王胜等,2005)等,并且其中缺乏对冷岛和湿岛效应强度的探讨,在冷岛及湿岛效应的影响下,从外围沙漠、荒漠区域到绿洲内部气温、降水量和降水日数的具体变化情况尚未有清晰认识。

绿洲作为干旱半干旱地区独特的生态单位,是维持干旱区居民生存活动的重要场所,探究绿洲气候效应对绿洲系统的维持和发展起着重要作用(张飞等,2009)。新疆是我国绿洲主要分布地之一,并且近年来随着全国自动气象站加密观测工作的开展,新疆气象部门也增设了大量自动气象站,从一定程度上解决了以往地面观测覆盖度有限的问题,这为多站点多区域研究新疆绿洲区冷岛及湿岛效应并进一步量化分析其强度提供了可能。就天山北坡西段绿洲及邻近荒漠沙漠区而言,该区域上有国家基准气候站1个、基本气象站4个、一般气象站7个。但这对于面积约 $1.86 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的绿洲区域而言,要从空间上评估其冷岛及湿岛效应的存在和强度仍是不够的,而经过数据质量控制和站点筛选后,该绿洲及周边区域仍有49个自动气象站,可以较好地覆盖整个绿洲及邻近的荒漠区,能够更加准确地量化分析其冷岛和湿岛效应强度。因此,本文采用2个完整年度自动气象站数据对所选研究区内气温、降水

量和降水日数的空间分布进行分析,进而探讨绿洲冷岛和湿岛效应的强度。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

在南、北疆分别选取天山北坡西段绿洲、焉耆盆地绿洲、哈密盆地绿洲和叶尔羌河流域绿洲(申元村,2000)及其邻近荒漠、沙漠区域作为主要研究区(1~4号研究区)。4个绿洲在面积大小、经纬向分布、局地地貌和气候等方面均有一定差异性,在南、北疆各绿洲中具有较好的代表性,且周边均有荒漠或沙漠分布,能较好地反映出冷岛和湿岛效应导致的绿洲-荒漠沙漠气温、降水量和降水日数差异性,有利于进一步探究冷岛和湿岛效应发挥的强度。

天山北坡西段绿洲位于北疆绿洲区南部乌苏至阜康间长约420 km的带状区域,大致呈纬向分布,面积共约 $1.86 \times 10^4 \text{ km}^2$ (申元村,2000),水土开发利用水平较高,是全疆著名绿洲区域之一,属温带大陆型气候。焉耆盆地绿洲位于天山南坡中段,主要涉及巴音郭楞蒙古自治州的焉耆、和静、和硕与博湖等县,面积约 $9.02 \times 10^3 \text{ km}^2$ (申元村,2000)。地面海拔一般在1050~1200 m,地势西高东低、北高南低,总体呈现为四周向盆地倾斜的地貌形态(王水献等,2012),属南北疆过渡的大陆荒漠性气候(王水献等,2011),热量充足,日照长,温差较大,凉爽湿润。哈密盆地绿洲位于天山南坡东段,哈顺戈壁以北,总体呈分散带状排列,由80多个绿洲构成,其中哈密绿洲面积最大达 330 km^2 ,艾合央塔克绿洲面积最小只有 0.1 km^2 ,所属绿洲有61%的单个面积在 5 km^2 以下(胡汝骥等,2003)。该区属温带大陆型气候,夏季炎热,冬季寒冷,气温日、年较差大,降水稀少。叶尔羌河流域绿洲位于塔里木盆地的西南边缘,长约400 km,宽40~80 km,面积约 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ (杨红娟等,2012)。该绿洲是一个由叶尔羌河及其支流北出昆仑山后形成的西南-东北向的狭长带状冲积平原,地势平缓微向北倾斜,地表组成物质细小,辫状水系发育(申元村,2000)。属于温带大陆性干旱气候,经济以农业为主,灌溉面积约为 $5.0 \times 10^3 \text{ km}^2$,是新疆最大的灌区,也是全国第四特大型灌区(杨红娟等,2012)。为使1~4号研究区的具体气候更加清晰,分别对各研究区代表性站点的主要气候指标1981—2010年平均值做出统计,如表1所示。

表 1 1~4 号研究区代表性站点的主要气候指标 1981—2010 年平均值

Table 1 Annual average main climate parameters for typical stations of Nos. 1~4 study areas from 1981 to 2010

研究区号	站点	年平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)	气温年较差 ($^{\circ}\text{C}$)	平均降水量 (mm)	相对湿度 (%)	日照时数 (h)	大风日数 (d)
1	乌苏	8.5	40.8	183.5	59	2568.1	1.5
	乌兰乌苏	7.4	40.5	230.8	66	2862.0	4.5
	蔡家湖	6.5	44.0	153.8	62	2850.2	6.5
2	焉耆	8.9	34.3	84.3	58	2972.6	7.0
3	哈密	10.3	36.6	43.7	45	3318.2	5.3
4	巴楚	12.4	32.1	68.1	48	2795.4	4.8
	麦盖提	11.9	30.1	56.5	55	2836.5	3.1
	莎车	12.0	30.5	61.3	54	2811.6	4.1

1.2 数据与方法

2012 年 4 月 1 日至 2014 年 3 月 31 日的新疆自动气象站日数据(最高气温、最低气温、平均气温、降水量)由新疆气象局提供。图 1 显示 1~4 号研究区主要国家基准气候站或基本气象站的 2012—2013 年和 1981—2010 年的平均气温、降水量在时间序列和冷暖、干湿地域差异上都具有较好的一致性。此外,各站点近两年与近 30 年平均气温和降水量的差值均小于近 30 年平均气温和降水量的标准差,因此近两年气候在近 30 年气候序列中具有较好的代表性。

本研究首先对数据进行严格的质量控制,再根据分布位置合理(即在绿洲区域内部、边缘及周边荒漠均有气象站分布)、时间序列完整、海拔相差不大等原则,选取自动气象站共 79 个。其中,在 1~4 号研究区上的站点数量分别为 49、12、7、11 个(图 2)。之后根据 GoogleEarth 提供的卫星影像,确定 1~4 号研究区中各站点到绿洲区域边界的距离(后

文简称为边界距离),规定边界上站点的距离值为 0,边界内部站点的距离值为正,外围荒漠或沙漠站点的距离值为负(各研究区站点的边界距离如图 2b-e 所示)。

数据处理上,通过逐日的气温(最高、平均、最低气温)、降水量数据获得各季节的平均气温(最高、平均、最低气温)、月降水量和降水日数数据。虽然研究站点的选取已经根据海拔相差不大的原则,但海拔仍是温度变化的一个潜在干扰因素,所以本文进行站点海拔与逐季节日最高气温、最低气温和平均气温的线性回归分析,利用逐季节逐绿洲区域的气温垂直递减率,将日最高气温、最低气温和平均气温的数值均订正到相应研究区站点的平均海拔上(1~4 号研究区所选站点的算数平均海拔依次为 477.19、1097.07、741.60、1202.67 m),从而使海拔对温度的影响最小化。海拔与降水量在平原范围内没有表现出显著的线性关系,不宜采用上述方法订正,因此保留质量控制后的降水量数据。在此基础上,将 1~4 号研究区内各站点的平均气温、月降水量和降水日数与相应研究区内所有站点平均气温、月降水量和降水日数的季节平均值做距平分析,探讨各研究区冷岛和湿岛效应的空间分布;综合经度、纬度等因素在 SPSS 19 中利用多元线性逐步回归方法逐季节分别对 1~4 号研究区进行定量化分析,确定函数关系,从而明确绿洲冷岛和湿岛效应的强度。

2 结果与分析

2.1 冷岛和湿岛效应的空间分布

为探讨绿洲冷岛效应,分别对 1~4 号研究区内不同季节平均气温的距平值进行分析,结果如图 3 所示:(1) 1 号研究区内的四季平均气温距平分析表

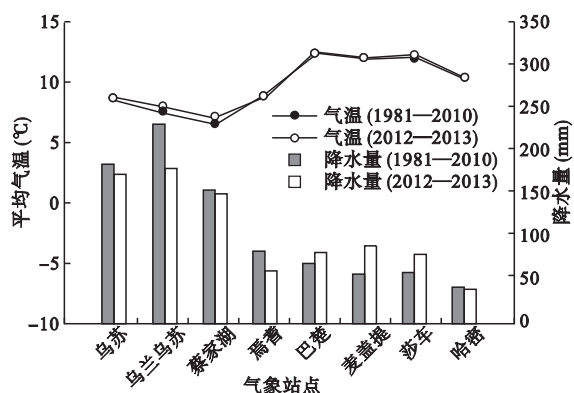


图 1 1~4 号研究区主要气象站点的 2012—2013 年与 1981—2010 年的平均气温和降水量

Fig. 1 Average temperature and precipitation of main weather stations in Nos. 1~4 study areas during 2012—2013 and 1981—2010

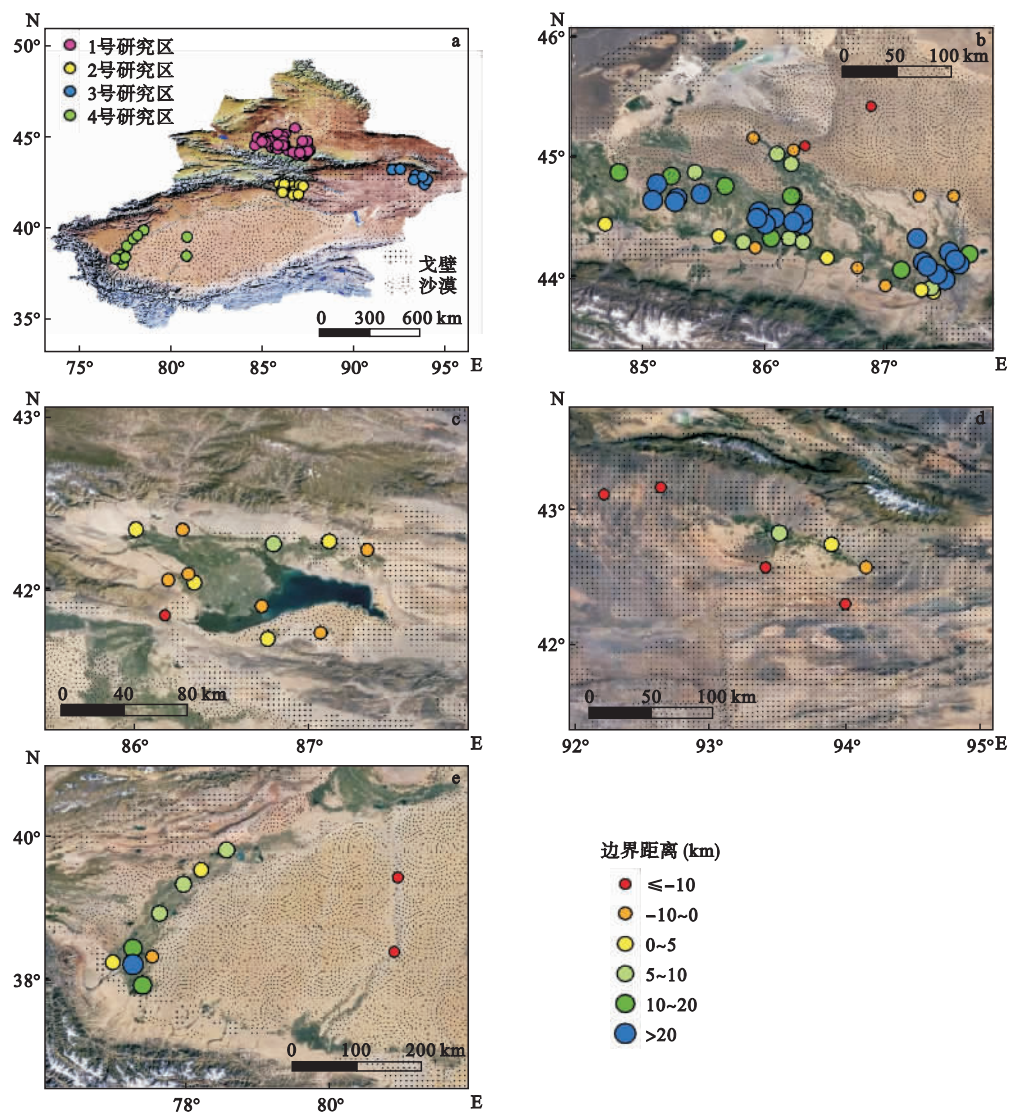


图 2 研究区气象站点分布示意图
Fig.2 Distribution of meteorological stations in the study areas
b-e. 颜色表示站点的边界距离; a. 站点在新疆的位置; b-e. 1~4 号研究区。

明、春、夏、秋 3 个季节中,距平值在 $-0.1\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的站点普遍分布于绿洲内部,绿洲外围荒漠或沙漠站点的平均气温距平普遍为正值,表现出从绿洲外围到内部气温逐渐降低的冷岛效应,冬季的冷岛效应较弱,平均气温负距平值 $-1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内的站点分布于绿洲内部,冷岛效应发挥一定作用。4 个季节中平均气温距平小于 $-1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的站点大多分布于纬度较高的地区,纬度对气温的影响超过了较弱的冷岛效应的影响。(2) 2 号研究区内冷岛效应在 4 个季节的平均气温距平分析中体现明显,从荒漠或沙漠到绿洲边缘再到绿洲内部,平均气温距平值由正到负,气温逐渐降低。(3) 3 号研究区内部站点春、夏、秋、冬季的平均气温距平值普遍为负值,到绿洲边缘再到外

围荒漠平均气温距平值由负到正,冷岛效应对气温的作用明显。(4) 4 号研究区内春、夏、秋季冷岛效应较冬季明显,春、夏、秋季平均气温负距平站点集中分布于绿洲区内部和边缘,沙漠站点的平均气温距平为较高的正值,绿洲内部、边缘和沙漠站点平均气温距平的对比很好地反映出绿洲的冷岛效应。

为探讨绿洲的湿岛效应,对 1~4 号研究区不同季节的降水量做距平进行分析,结果如图 4 所示:

(1) 1 号研究区,春、夏、秋、冬季降水量正距平的站点(蓝、绿、黄色)较集中的分布于绿洲区域内,降水量距平值小于 -0.1 mm (红色)的站点大致分布于绿洲边缘及周边荒漠或沙漠,表现出从绿洲外围到绿洲内部降水量逐渐增加的湿岛效应,还有一些站点

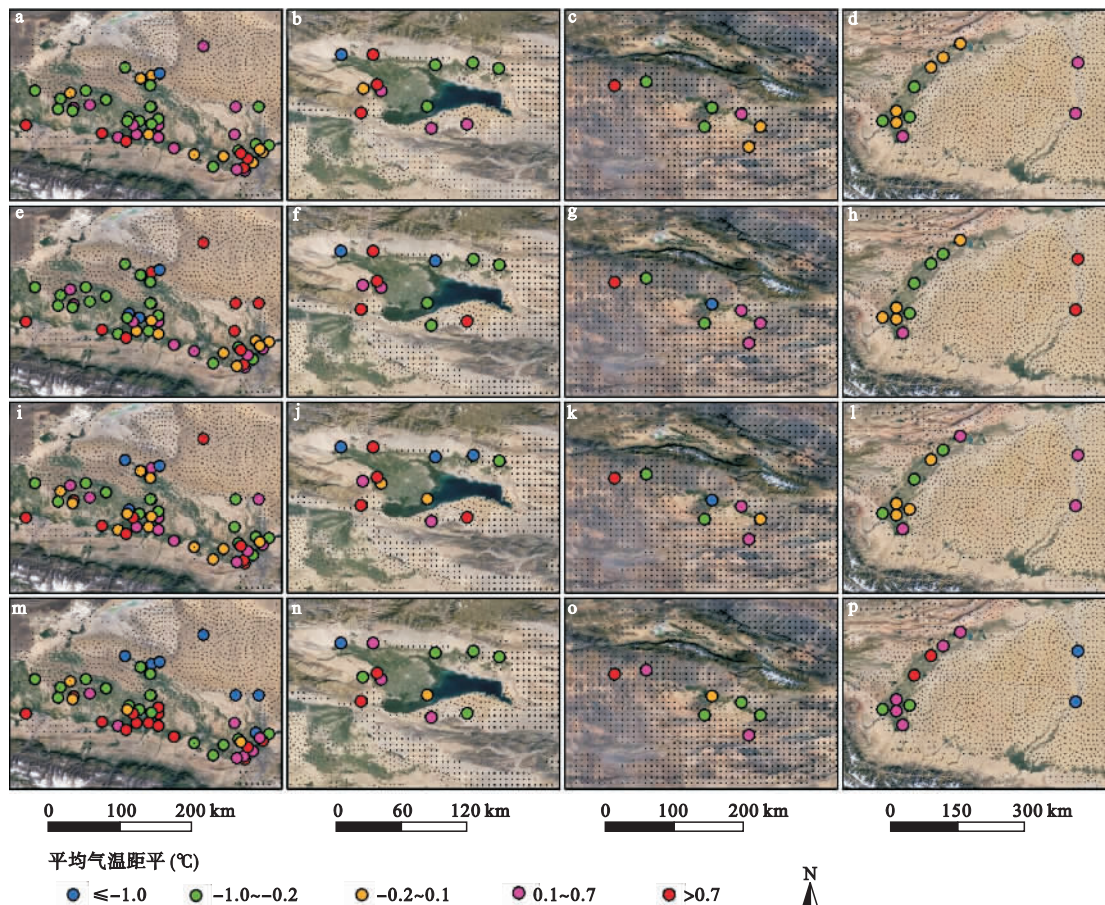


图3 1~4号研究区各个季节的平均气温距平示意图

Fig.3 Average temperature anomalies of Nos. 1-4 study areas in four seasons

a-d. 1~4号研究区春季; e-h. 1~4号研究区夏季; i-l. 1~4号研究区秋季; m-p. 1~4号研究区冬季。

(紫色) 四季的降水量距平值在 $-0.1 \sim 0$ mm, 绿洲湿岛效应体现相对不明显, 在绿洲内部、边缘和外围均有分布。(2) 2号研究区的四季降水量距平图中, 秋季(图3j)的湿岛效应较其他季节明显, 绿洲内部及边缘站点的降水量呈正距平, 绿洲外围站点呈负距平, 是绿洲湿岛效应发挥作用的反映, 降水量距平值波动较小, 湿岛效应强度较弱。(3) 3号研究区的湿岛效应在春、夏、秋、冬季降水量中均发挥了作用, 距平值 $0 \sim 0.1$ mm的站点主要分布于绿洲内部, 距平值 $-0.1 \sim 0$ mm站点主要分布于绿洲外围, 降水量距平值在 ± 0.1 mm的范围内波动, 湿岛效应强度较弱。(4) 4号研究区, 春、夏两季的湿岛效应强于秋、冬两季, 春、夏两季绿洲外围沙漠站点与绿洲内部站点的干湿程度差异较大; 秋、冬两季整体也表现出绿洲外围到内部由干变湿的湿岛效应, 但干湿程度的跨度较小, 湿岛效应较弱。

绿洲的湿岛效应在降水日数上也有一定体现, 图5为1~4号研究区不同季节的降水日数距平, 其

中1号研究区面积较大, 受经纬度跨度大的影响, 四季的降水日数距平没有体现出非常明显的湿岛效应, 相对而言春夏两季比秋冬两季明显, 而2号研究区春、夏、秋季的降水日数距平与站点边界距离呈明显的正相关, 表明从荒漠沙漠区到绿洲区降水日数逐渐增加, 体现了较为明显的湿岛效应, 冬季湿岛效应则相对较弱, 3号和4号研究区的四季降水日数距平很好地体现了湿岛效应发挥的作用, 绿洲外围荒漠或沙漠区域站点的降水日数距平普遍为负值, 靠近绿洲区域逐渐变为正值, 3号研究区湿岛效应在降水日数上的体现夏季较其他季节明显, 而4号研究区春夏两季比秋冬两季更为明显。

2.2 冷岛和湿岛效应强度

为了进一步量化分析绿洲冷岛和湿岛效应的强度, 分别将4个研究区不同季节的日最高气温、最低气温、平均气温、降水量和降水日数与站点边界距离、海拔、经度、纬度做多元线性逐步回归分析(表2)。

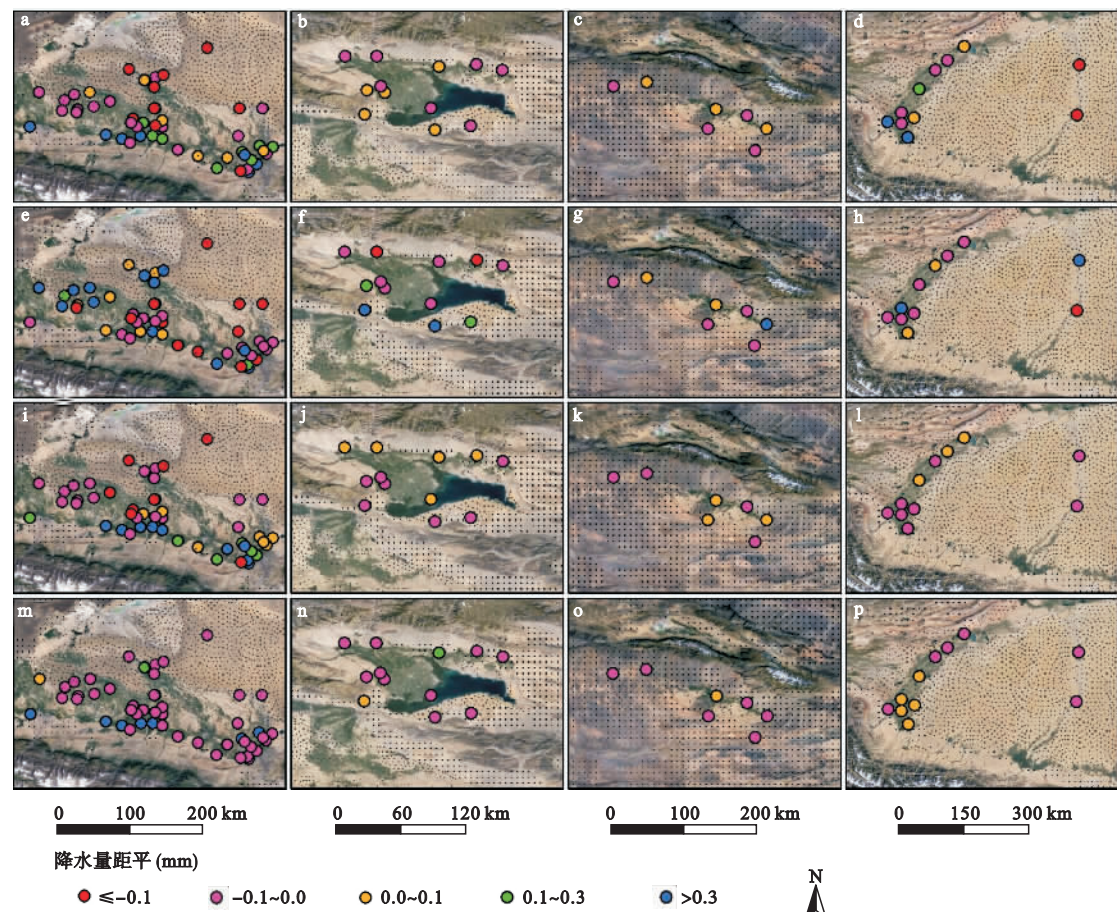


图 4 1~4 号研究区各个季节的降水量距平示意图
Fig.4 Precipitation anomalies of Nos. 1-4 study areas in four seasons
a-d. 1~4 号研究区春季; e-h. 1~4 号研究区夏季; i-l. 1~4 号研究区秋季; m-p. 1~4 号研究区冬季。

不同研究区的冷岛效应强度存在一定差异性。

(1) 1 号研究区,春季最低气温和夏、秋季平均气温的回归分析显示,冷岛效应发挥一定作用,站点边界距离的回归系数分别为 0.024、0.013 和 0.020 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$,其他季节其他指标的回归分析反映出经纬度对气温的影响较大,具体函数如表 2 所示。

(2) 2 号研究区,冷岛效应在最低气温和平均气温指标上表现明显,每靠近绿洲中心 1 km 春、夏、秋季的最低气温均降低 0.2 $^{\circ}\text{C}$ 左右,春、夏、秋季平均气温与站点边界距离的回归方程依次为 $t = -0.088d + 14.592$ $t = -0.129d + 23.944$ $t = -0.147d + 9.682$ 。

(3) 3 号研究区,在夏、秋季的最低气温和秋、冬季的平均气温的分析中,冷岛效应非常明显,从周边荒漠或沙漠到绿洲区域边缘再到内部,每靠近 1 km 气温依次降低 0.070、0.068、0.039 和 0.027 $^{\circ}\text{C}$ 。在春季最低气温的回归分析中,站点边界距离的回归系数为 0.055 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$,表现出一定程度的冷岛效应。经度对冬季的最低气温和最高气温影响较大。

(4) 4 号研究区,

冷岛效应在平均气温和最高气温分析中体现较为明显,从周边荒漠或沙漠到绿洲区域内部,夏季平均气温和春、秋季最高气温变化率在 0.003 ~ 0.007 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$ 变动。在夏季最高气温的回归分析中,站点边界距离的回归系数为 0.007 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$ 。其他季节其他指标中冷岛效应的体现不明显,站点边界距离的回归系数甚至出现正值。

1~4 号研究区表现出不同程度的湿岛效应。1 号研究区内湿岛效应的回归分析显示纬度对春、秋季降水量影响较大,经度对夏季降水量影响显著,降水日数的回归分析也表明经纬度的影响超过了湿岛效应的影响,湿岛效应存在但强度较弱。2 号研究区内的纬度因素在夏、秋季降水量中发挥主要作用,降水量和降水日数回归分析中没有湿岛效应起主导作用的回归方程,整体而言湿岛效应强度较弱。3 号研究区湿岛效应在秋季降水量指标上表现强度较大,从周边荒漠或沙漠到绿洲边缘再到绿洲内部,降水量逐渐增加,回归方程为 $p = 0.001d + 0.048$,在春、

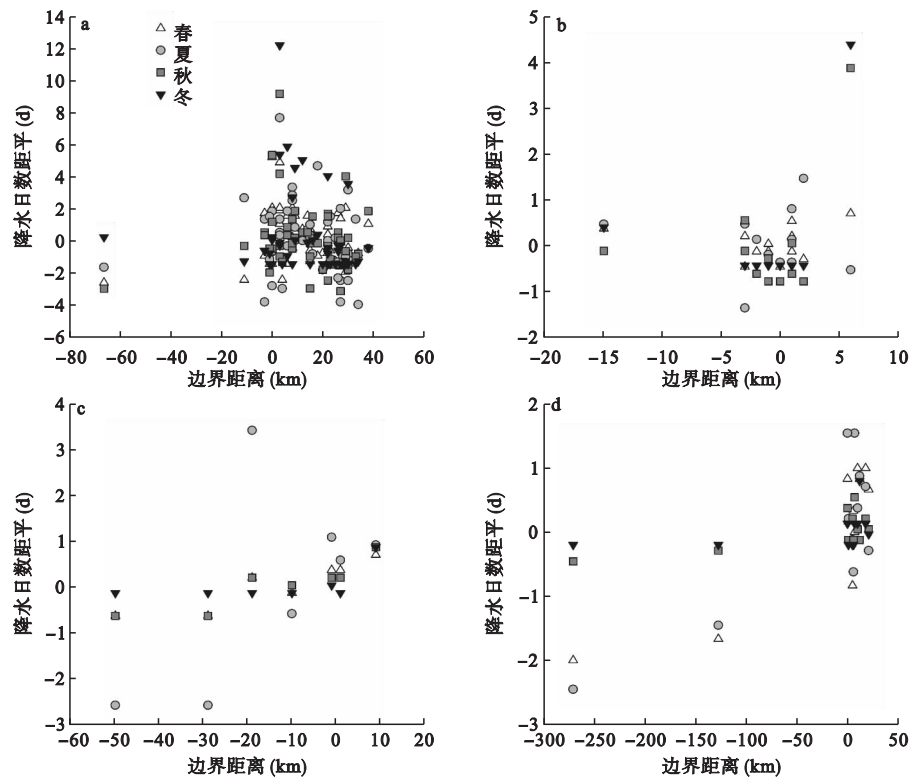


图5 1~4号研究区各个季节的降水日数距平

Fig.5 Precipitation days anomalies of Nos. 1~4 study areas in four seasons

a. 1号研究区; b. 2号研究区; c. 3号研究区; d. 4号研究区。

秋季的降水日数回归分析中, 站点边界距离的回归系数分别为 0.026 和 $0.032 \text{ d} \cdot \text{km}^{-1}$, 其他季节湿岛效应强度相对较弱。4号研究区内, 海拔高度和纬度因素对春季降水量影响较大, 经度因素对春季降水日数影响较大, 在夏、秋季降水日数回归分析中湿岛效应体现明显, 从荒漠或沙漠到绿洲内部降水日数逐渐增多, 回归方程分别为 $D=0.011d+4.967$ 、 $D=0.002d+0.548$, 整体而言湿岛效应强度较弱。

3 结 论

不同绿洲区域的地理位置、面积大小、海拔等因素的不同导致了冷岛效应和湿岛效应的差异性。本研究选取了统计学上常用的逐步回归法, 对不同的参数进行多元线性回归, 从回归拟合方程的系数可以清晰地看出不同参数对其气象指标(最高气温、最低气温、平均气温、降水量、降水日数)的贡献程度, 进而可以清楚地分析出冷岛和湿岛效应的强度, 得到的主要结论为:

(1) 1号研究区冷岛效应显著, 多元线性逐步回归分析中, 春季最低气温、夏秋季平均气温指标的站点距边界距离的回归系数分别为 0.024、0.013 和

$0.020 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$, 冷岛效应强度较弱。四季降水量和春、夏两季降水日数从绿洲外围到内部逐渐增加, 湿岛效应存在但强度较弱。

(2) 2号研究区, 冷岛效应非常明显, 从绿洲外围到内部, 每靠近 1 km 春、夏、秋季最低气温均降低 $0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 左右; 春、夏、秋季平均气温与站点边界距离的回归方程依次为 $t=-0.088d+14.592$ 、 $t=-0.129d+23.944$ 、 $t=-0.147d+9.682$ 。湿岛效应在秋季降水量指标上体现明显, 全年降水量距平值波动较小, 春、夏、秋季降水日数从荒漠沙漠区到绿洲区呈明显增加趋势, 湿岛效应强度较弱。

(3) 3号研究区冷岛效应明显, 从外围荒漠到绿洲边缘再到内部平均气温距平值由正到负, 并且每靠近 1 km, 夏、秋季的最低气温和秋、冬季的平均气温依次降低 0.070 、 0.068 、 0.039 和 $0.027 \text{ } ^\circ\text{C}$, 春季最低气温站点边界距离的回归系数为 $0.055 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$ 。湿岛效应在全年均发挥一定作用, 四季降水量距平值在 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 范围内波动, 四季降水日数从荒漠沙漠区到绿洲区明显增多, 秋季降水量回归方程为 $P=0.001d+0.048$, 春、秋季降水日数的回归分

表 2 1~4 号研究区各个季节日最低、平均、最高气温、降水量和降水日数的回归方程
Table 2 Regression equations of daily minimum , average , maximum temperature , precipitation amount and days of Nos. 1-4 study areas in four seasons

		1 号研究区	2 号研究区	3 号研究区	4 号研究区
最低气温	春	$t=-0.024d-0.668lon-2.153lat+159.110$ ($R^2=0.337$ $p<0.01$)	$t=-0.182d+6.703$ ($R^2=0.393$ $P<0.05$)	$t=-0.055d+2.016lat-79.246$ ($R^2=0.961$ $P<0.01$)	$t=0.006d+9.226$ ($R^2=0.423$ $P<0.05$)
	夏	-	$t=-0.218d+17.082$ ($R^2=0.393$ $P<0.05$)	$t=-0.070d+19.926$ ($R^2=0.730$ $P<0.05$)	-
	秋	-	$t=-0.232d+2.431$ ($R^2=0.447$ $P<0.05$)	$t=-0.068d+3.444$ ($R^2=0.814$ $P<0.01$)	-
	冬	$t=-0.776lon-2.596lat+164.325$ ($R^2=0.328$ $P<0.01$)	-	$t=-1.599lon+136.203$ ($R^2=0.845$ $P<0.01$)	$t=0.012d-9.042$ ($R^2=0.404$ $P<0.05$)
平均气温	春	$t=-0.682lat+44.149$ ($R^2=0.196$ $P<0.01$)	$t=-0.088d+14.592$ ($R^2=0.335$ $P<0.05$)	-	$t=0.006h+0.295lon+0.489lat-33.465$ ($R^2=0.825$ $P<0.01$)
	夏	$t=-0.013d+0.307lon+0.427$ ($R^2=0.194$ $P<0.01$)	$t=-0.129d+23.944$ ($R^2=0.415$ $P<0.05$)	-	$t=-0.007d+24.871$ ($R^2=0.765$ $P<0.01$)
	秋	$t=-0.020d-0.001h-1.185lat+63.089$ ($R^2=0.264$ $P<0.01$)	$t=-0.147d+9.682$ ($R^2=0.488$ $P<0.05$)	$t=-0.039d+10.462$ ($R^2=0.681$ $P<0.05$)	-
	冬	$t=-0.587lon-2.091lat+126.966$ ($R^2=0.442$ $P<0.01$)	-	$t=-0.027d-7.846$ ($R^2=0.742$ $P<0.05$)	$t=0.006d-2.991$ ($R^2=0.446$ $P<0.05$)
最高气温	春	$t=-0.510lat+42.197$ ($R^2=0.218$ $P<0.01$)	-	-	$t=-0.004d+23.793$ ($R^2=0.769$ $P<0.01$)
	夏	$t=0.560lon-0.001h-15.709$ ($R^2=0.350$ $P<0.01$)	-	-	$t=-0.007d+0.002h+29.872$ ($R^2=0.903$ $P<0.01$)
	秋	$t=-0.530lat+39.586$ ($R^2=0.225$ $P<0.01$)	-	-	$t=-0.003d+20.611$ ($R^2=0.570$ $P<0.01$)
	冬	$t=-0.422lon-1.678lat+101.730$ ($R^2=0.458$ $P<0.01$)	-	$t=0.501lon-47.377$ ($R^2=0.880$ $P<0.01$)	-
降水量	春	$p=-0.285lat+13.014$ ($R^2=0.317$ $P<0.01$)	-	-	$p=0.004h+0.324lat-17.209$ ($R^2=0.760$ $P<0.01$)
	夏	$p=-0.101lon+9.381$ ($R^2=0.087$ $P<0.05$)	$P=-0.747lat+32.113$ ($R^2=0.603$ $P<0.01$)	-	-
	秋	$p=-0.366lat+16.636$ ($R^2=0.419$ $P<0.01$)	$P=0.123lat-5.115$ ($R^2=0.412$ $P<0.05$)	$P=0.001d+0.048$ ($R^2=0.704$ $P<0.05$)	-
	冬	-	-	-	-
降水日数	春	$D=-1.455lat+68.578$ ($R^2=0.103$ $P<0.05$)	-	$D=0.026d+0.702lat-28.982$ ($R^2=0.975$ $P<0.01$)	$D=-0.694lon+56.668$ ($R^2=0.828$ $P<0.01$)
	夏	$D=-1.143lon+106.488$ ($R^2=0.186$ $P<0.01$)	-	-	$D=0.011d+4.967$ ($R^2=0.651$ $P<0.01$)
	秋	$D=-2.3250lat+107.655$ ($R^2=0.160$ $P<0.01$)	-	$D=0.032d-0.410lon+39.442$ ($R^2=0.968$ $P<0.01$)	$D=0.002d+0.548$ ($R^2=0.449$ $P<0.05$)
	冬	-	-	-	-

- 无函数表达式 t . 温度(℃) p . 降水量(mm) d . 站点的边界距离(km) h . 海拔高度(m) lon . 经度(°) lat . 纬度(°) D . 降水日数(d) R^2 . 回归方程决策系数, P . 统计检验信度水平。

析中, 站点边界距离的回归系数分别为 0.026 和 0.032 d · km⁻¹。

(4) 4 号研究区 春、夏、秋季冷岛效应较冬季明显, 从荒漠或沙漠到绿洲边缘和内部, 夏季平均气温和春、秋季最高气温的变化率在 0.003 ~ 0.007 ℃ · km⁻¹ 变动, 夏季最高气温的站点边界距离的回归系数为 0.007 ℃ · km⁻¹。湿岛效应春、夏两季比秋、冬两季更为明显, 夏、秋季降水日数的回归方程分别为 $D=0.011d+4.967$ 和 $D=0.002d+0.548$ 。

参考文献

奥银焕, 吕世华, 陈世强, 等. 2005. 夏季金塔绿洲及邻近戈壁的冷湿舌及边界层特征分析. 高原气象, 24(4): 503

-508.
陈世强, 吕世华, 奥银焕, 等. 2005. 夏季金塔绿洲与沙漠次级环流近地层风场的初步分析. 高原气象, 24(4): 534-539.
陈玉春, 吕世华, 高艳红. 2004. 不同尺度绿洲环流和边界层特征的数值模拟. 高原气象, 23(2): 177-183.
高由禧. 1989. 关于我所开展干旱气候研究的历史. 高原气象, 8(2): 103-106.
胡汝骥, 王亚俊, 姜逢清, 等. 2003. 哈密——一个典型的地下水补给型荒漠绿洲区. 干旱区地理, 26(2): 136-142.
胡隐樵, 高由禧, 王介民, 等. 1994. 黑河实验(HEIFE) 的一些研究成果. 高原气象, 13(3): 225-236.
胡隐樵. 1994. 黑河试验(HEIFE) 能量平衡和水汽输送研究进展. 地球科学进展, 9(4): 30-34.
颌耀文, 陈发虎, 王乃昂. 2004. 近 2000 年来甘肃民勤盆地

- 绿洲的空间变化. 地理学报, **59**(5): 662-670.
- 李润林, 时永杰, 姚艳敏, 等. 2014. 基于 Landsat TM/ETM+ 的张掖市甘州区绿洲冷岛效应时空变化研究. 干旱区资源与环境, **28**(9): 139-144.
- 刘树华, 潘英, 胡非, 等. 2009. 沙漠绿洲地区夏季地表能量手指的数值模拟. 地球物理学报, **52**(5): 1197-1207.
- 吕世华. 2004. 山地绿洲边界层特征的数值模拟. 中国沙漠, **24**(1): 41-46.
- 吕忠杰, 刘海世, 张福存, 等. 2014. 25 年来额济纳天然绿洲 LUCC、ET 与 VC 研究. 干旱区资源与环境, **28**(5): 53-59.
- 马勇刚, 贡璐, 丁建丽. 2007a. 塔里木南缘绿洲“冷岛”效应时空变化研究——以于田地区为例. 中国沙漠, **27**(5): 866-869.
- 马勇刚, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 2007b. 塔里木南缘绿洲“冷岛”效应及与植被覆盖相关分析——以于田绿洲为例. 干旱区地理, **30**(6): 865-870.
- 满苏尔·沙比提, 胡江玲, 迪里夏提·司马义. 2008. 近 40 年来渭干河-库车河三角洲绿洲气候变化特征分析. 地理科学, **28**(4): 518-524.
- 孟宪红, 吕世华. 2012. 卫星遥感结合数值模式估算金塔绿洲非均匀地表能量通量. 高原气象, **31**(4): 910-919.
- 潘竟虎, 张伟强. 2010. 张掖绿洲冷岛效应时空格局的遥感分析. 干旱区研究, **27**(4): 481-486.
- 申元村. 2000. 中国绿洲. 开封: 河南大学出版社.
- 师庆三, 肖继东, 熊黑钢, 等. 2006. 绿洲冷岛效应的遥感研究——以奇台绿洲为例. 新疆大学学报, **23**(3): 334-337.
- 苏从先, 胡隐樵, 张永丰, 等. 1987a. 河西地区的小气候特征和“冷岛效应”. 大气科学, **11**(4): 390-396.
- 苏从先, 胡隐樵. 1987b. 绿洲和湖泊的“冷岛效应”. 科学通报, **31**(10): 756-758.
- 王胜, 张强, 卫国安. 2005. 敦煌绿洲—戈壁过渡带地表辐射与能量特征分析. 高原气象, **24**(4): 556-562.
- 王水献, 吴彬, 郭玉川. 2012. 焉耆盆地绿洲区土地利用变化对生态系统服务价值影响研究. 干旱区资源与环境, **26**(10): 138-143.
- 王水献, 吴彬, 杨鹏年, 等. 2011. 焉耆盆地绿洲灌区生态安全下的地下水埋深合理界定. 资源科学, **33**(3): 422-430.
- 王兮之, Bruehlheide H, Runge M, 等. 2002. 基于遥感数据的塔南策勒荒漠-绿洲景观格局定量分析. 生态学报, **22**(9): 1491-1499.
- 文莉娟, 吕世华, 孟宪红, 等. 2006. 环境风场对绿洲冷岛效应影响的数值模拟研究. 中国沙漠, **26**(5): 754-758.
- 文小航, 吕世华, 董文杰, 等. 2014. 西北干旱区绿洲—戈壁资料同化数据集的建立与分析. 高原气象, **33**(1): 66-79.
- 文小航, 吕世华, 孟宪红, 等. 2010. WRF 模式对金塔绿洲效应的数值模拟. 高原气象, **29**(5): 1163-1173.
- 杨青, 雷加强, 魏文寿, 等. 2004. 人工绿洲对夏季气候变化趋势的影响. 生态学报, **24**(12): 2728-2734.
- 杨红娟, 丛振涛, 赵岩, 等. 2012. 叶尔羌河流域绿洲蒸发量的遥感估算. 干旱区研究, **29**(3): 479-486.
- 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 2009. 干旱区绿洲土地利用/覆盖及景观格局变化特征——以新疆精河县为例. 生态学报, **29**(3): 1251-1263.
- Brunel J, Ihab J, Droubi AM, et al. 2006. Energy budget and actual evapotranspiration of an arid oasis ecosystem: Palmyra (Syria). *Agricultural Water Management*, **84**: 213-220.
- Chu PC, Lu SH, Chen YC. 2005. A numerical modeling study on desert oasis self-supporting mechanisms. *Journal of Hydrology*, **312**: 256-276.
- Domroes M, El-Tantawi A. 2005. Recent temporal and spatial temperature changes in Egypt. *International Journal of Climatology*, **25**: 51-63.
- Gao YH, Chen YC, Lv SH. 2004. Numerical simulation of the critical scale of oasis maintenance and development in the arid regions of Northwest China. *Advances in Atmospheric Sciences*, **21**: 113-124.
- Kai K, Matsuda M, Sato R. 1997. Oasis effect observed at the Zhangye oasis in Hexi Corridor, China. *Journal of Meteorological Society of Japan*, **61**: 1171-1178.
- Li C, Wang Y, Qiu GY. 2013. Water and energy consumption by agriculture in the Minqin Oasis Region. *Journal of Integrative Agriculture*, **12**: 1330-1340.
- Liu SH, Liu HP, Hu Y, et al. 2007. Numerical simulations of land surface physical processes and land-atmosphere interactions over oasis-desert/Gobi region. *Science in China Series D: Earth Sciences*, **50**: 290-295.
- Oke TR. 1987. *Boundary Layer Climates*. London: Routledge.
- Potchter O, Goldman D, Iluz D, et al. 2012. The climatic effect of a manmade oasis during winter season in a hyper arid zone: The case of Southern Israel. *Journal of Arid Environments*, **87**: 231-242.
- Potchter O, Goldman D, Kadish D, et al. 2008. The oasis effect in an extremely hot and arid climate: The case of southern Israel. *Journal of Arid Environments*, **72**: 1721-1733.
- Saaroni H, Bitan A, Ben Dor E, et al. 2004. The mixed results concerning the “oasis effect” in a rural settlement in the Negev Desert, Israel. *Journal of Arid Environments*, **58**: 235-248.
- Siebert S, Nagieb M, Buerkert A. 2007. Climate and irrigation water use of a mountain oasis in northern Oman. *Agricultural Water Management*, **89**: 1-14.

作者简介 杜铭霞,女,1988 年生,硕士研究生,主要从事气候变化方面的研究。E-mail: mingxiadu@126.com
责任编辑 张敏