

陆芊芊, 杨婷, 王自发, 等. 2020. 湿地小气候效应特征研究 [J]. 气候与环境研究, 25(4): 399–409. LU Qianqian, YANG Ting, WANG Zifa, et al. 2020. Characteristics of Micro Climate Effects of Wetlands [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 25 (4): 399–409. doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2019.19050

湿地小气候效应特征研究

陆芊芊^{1,2} 杨婷¹ 王自发¹ 王喜全¹ 何立涛³

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

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 衡水市环保局, 河北衡水 053000

摘要 湿地对局地小气候具有调节作用, 研究湿地小气候效应特征能更具体地了解湿地对局地小气候的影响。本文以河北省衡水市的衡水湖为例, 利用衡水市 11 个常规气象观测站数据, 通过对湖区及湖区外各季节不同气象要素的对比, 对衡水湖各个季节的小气候效应进行了分析。结果表明: (1) 衡水湖具有冷岛效应、湿岛效应和风岛效应, 能够调节周围的气候特征; (2) 衡水湖的小气候效应具有季节特征, 衡水湖各季节平均的冷岛效应由强到弱依次为春季、冬季、秋季、夏季, 湿岛效应由强到弱分别为夏季、春季、秋季、冬季, 风岛效应由强到弱依次为春季、夏季、冬季、秋季, 春季小气候效应最强; (3) 衡水湖的小气候效应具有昼夜特征, 夜晚的冷岛效应强于白天, 湿岛和风岛效应正相反, 白天的强度大于夜晚。

关键词 湿地小气候 冷岛 湿岛 风岛

文章编号 1006-9585(2020)04-0399-11

中图分类号 P463.24

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2019.19050

Characteristics of Micro Climate Effects of Wetlands

LU Qianqian^{1,2}, YANG Ting¹, WANG Zifa¹, WANG Xiquan¹, and HE Litao³

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Hengshui City Environmental Protection Bureau, Hengshui, Hebei Province 053000

Abstract Wetlands play important roles regulating the local microclimate. Studying the characteristics of wetland microclimate effects can help to specifically understand the impact of the wetlands on the local microclimate. In this study, we chose Hengshui Lake in Hengshui City, Hebei Province, as the study area and analyzed the microclimate effects of Hengshui Lake during different seasons by comparing the meteorological elements inside and outside the lake. The data came from 11 conventional meteorological stations in Hengshui City. The results show that: (1) Hengshui Lake has a remarkable cold island effect, wet island effect, and a wind island effect, which modify the surrounding climate characteristics. (2) The microclimate effect of Hengshui Lake has an obvious seasonal characteristic. The order of the average cold island effect during the four seasons is spring > winter > autumn > summer; the order of the wet island effect is summer > spring > autumn > winter; and the order of the wind island effect is spring > summer > winter > autumn. The microclimate effect is intense in spring. (3) Hengshui Lake shows an obvious circadian rhythm in its

收稿日期 2019-04-09; **网络预出版日期** 2019-09-29

作者简介 陆芊芊, 女, 1994 年出生, 硕士, 主要从事大气环境研究。E-mail: luqianqian@mail.iap.ac.cn

通讯作者 杨婷, E-mail: tingyang@mail.iap.ac.cn

资助项目 大气重污染成因与治理攻关项目 DQGG0209、DQGG0107、DQGG0304

Funded by National Research Project for Key Program Air Pollution Control, China (Grants DQGG0209, DQGG0107, and DQGG0304)

microclimate effect. The cold island effect is stronger at night than during the day, while the wet island and wind island effects are stronger during the day than at night.

Keywords Microclimate of the wetland, Cold island, Wet island, Wind island

1 引言

湿地, 被称为“地球之肾”, 包括各种咸水淡水沼泽地、湿草甸、湖泊、河流以及泛洪平原、河口三角洲、泥炭地、湖海滩涂、河边洼地或漫滩、湿草原等, 在调节区域气候特征方面具有重要作用(杨一鹏等, 2013)。小气候是指在局部地区内因下垫面局部特性影响而形成的贴地层和土壤上层的气候, 具有“范围小、差别大、很稳定”的特点(彭华青等, 2010)。在不同的下垫面上会形成各种不同的小气候, 研究湿地小气候效应对了解湿地对周边小气候的调节作用具有重要意义。湖泊湿地具有多样的生态功能, 对气候变化敏感, 国内外有不少关于湿地对气候影响的研究(傅抱璞, 1997; Christensen et al., 1999; Rodriguez-Iturbe, 2000; Lahmer et al., 2001; Wang et al., 2006), 近些年, 很多学者围绕湿地的小气候效应进行了一些研究(李书严等, 2008; 彭小芳等, 2008; 彭华青等, 2010; 聂晓和王毅勇, 2010; 纪文真等, 2014; 崔丽娟等, 2015; 张伟等, 2016), 证实了湿地具有冷、湿岛效应。李书严等(2008)、张伟等(2016)发现湿地还具有风岛效应。湿地小气候效应具有时间和空间上的特征, 小气候效应在年、季节、月份、小时时间尺度上都有差异(彭华青等, 2010; 张伟等, 2016), 离湿地越近小气候效应越强, 温度与距湿地的距离成正比, 相对湿度和风速与距湿地的距离成反比(李书严等, 2008; 崔丽娟等, 2015), 另外, 湿地的面积、形状和地理位置对湿地的小气候效应有较大影响(李书严等, 2008; 彭小芳等, 2008)。

虽然上述已有研究从不同角度揭示了湿地水体的小气候效应特征, 但是目前关于湿地小气候效应这方面的研究仍十分稀少, 并且缺乏一定的系统性和完整性, 之前学者的研究主要针对南方的大面积湖泊(太湖、西湖等), 关于北方的大面积湖泊研究较为空白, 因此本文对河北省的衡水湖进行研究, 使得湿地小气候效应的研究更具有说服力。其次, 近些年, 我国城市规划愈发重视恢复城市湿地, 有机地将湿地小气候与城市功能融为一体, 将会大大改善城市环境, 提高城市环境容量与生态安全水平。

因此, 对衡水湖湿地小气候效应的研究, 能对巧妙地融合湿地功能与城市功能起到一定的指导意义。最后, 研究湿地小气候效应对了解湿地对周边小气候的调节作用具有重要意义, 局地的小气候会对局地的天气、污染产生一定的影响, 摸清湿地小气候效应规律能为之后研究湿地小气候效应对空气污染的影响研究奠定基础, 本文只是前期研究, 之后希望能深入研究湿地小气候效应对空气污染的影响。

衡水湖自然保护区是华北地区第一个内陆淡水湿地国家级自然保护区, 湖的面积适中, 具有一定的代表性, 故本文选择以衡水湖为例, 从季节和小时时间尺度上研究衡水湖的小气候效应, 并在之前研究的基础上完善研究方法, 对效应的强度进行定义, 即不同于之前的研究采用两个站点对比来进行研究, 本文选用多个站点的平均值进行对比研究。另外, 本文对温度、比湿和 2 min 平均风速进行了四季时空变化特征研究。

2 研究区概况、资料与方法

2.1 研究区概况

衡水位于河北省东南部, 地处河北冲积平原, 地势自西南向东北缓慢倾斜, 属大陆季风气候区, 为温暖半干旱型(孙世卫等, 2016)。截至 2016 年, 衡水市辖 2 个市辖区、1 个县级市、8 个县。衡水市 2015 年、2016 年污染十分严重, 位居全国最重污染城市前十名, 2017 年、2018 年污染得到了较大的改善, 衡水市的主要污染物是 PM_{2.5} 和 PM₁₀。

衡水湖为黑龙港流域冲积平原冲蚀低地带内的天然湖泊, 水域面积 7500 hm², 平均水深 3~4 m, 最大蓄水能力为 1.88×10⁸ m³, 是华北平原淡水湿地生态系统的典型代表(崔希东, 2013)。衡水湖国家级自然保护区坐落在河北省衡水市桃城区、冀州两区境内, 地理坐标范围为(115°27'50"E~115°42'51"E, 37°31'40"N~37°41'56"N)。自然保护区规划总面积 26842 hm², 其中水域湖面 7500 hm², 占整个保护区的 40%, 被人工隔堤分隔为东湖、西湖和冀州小湖(董忆锋, 1995)。

2.2 资料与方法

本文选取的资料序列自 2017 年 3 月 1 日至 2018 年 2 月 28 日。温度、相对湿度、2 min 平均风速等气象资料来自衡水市 11 个气象站点的逐小时观测数据。气象站点的位置分布如图 1 所示, 衡水湖就是图中蓝色阴影部分。

湖区站点顾名思义为衡水湖气象观测站点, 湖区外站点即衡水湖气象观测站点之外的其他气象观测站点, 本研究由于无衡水湖站点数据, 故选取离衡水湖最近的冀州站点作为衡水湖的代表站点, 即文章中所说的湖区站点。图 1 中除冀州站之外的衡水、枣强、故城等其他 10 个站点称为湖区外站点, 但是根据文章第三部分气象要素的空间分布再筛选出适合计算的湖区外站点, 详见下文。

本文 4 个季节按天文季节的划分方法 (雷媛和孙彭龄, 2001), 即四季等长, 划分为 2017 年 3~5 月为春季, 2017 年 6~8 月为夏季, 2017 年 9~11 月为秋季, 2017 年 12 月至 2018 年 2 月为冬季。

本文定义冷岛强度、湿岛强度、风岛强度 3 个变量, 作为对衡水湖湿地小气候效应的定量描述。冷岛强度指的是衡水湖冷岛效应的强度, 表示为同一时间湖区与湖区外温度的差异, 冷岛强度的绝对

值越大, 说明冷岛效应越强。冷岛强度表达式如下:

$$C_{II} = T_{\text{Lakeside}} - T_{\text{Inland}}, \quad (1)$$

$$T_{\text{Lakeside}} = (T_{\text{Lakeside}1} + T_{\text{Lakeside}2} + \dots + T_{\text{Lakeside}n})/n, \quad (2)$$

$$T_{\text{Inland}} = (T_{\text{Inland}1} + T_{\text{Inland}2} + \dots + T_{\text{Inland}m})/m, \quad (3)$$

其中, C_{II} 表示冷岛强度 (Cold Island Intensity, 单位: $^{\circ}\text{C}$), T_{Lakeside} 为湖区站点温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$), T_{Inland} 为湖区外站点温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$), $T_{\text{Lakeside}n}$ 和 $T_{\text{Inland}m}$ 分别代表第 n 个湖区站点和第 m 个湖区外站点的温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$)。

湿岛强度指的是衡水湖湿岛效应的强度, 表示为同一时间湖区与湖区外比湿的差异, 湿岛强度的绝对值越大, 说明湿岛效应越强。湿岛强度表达式如下:

$$W_{\text{etII}} = q_{\text{Lakeside}} - q_{\text{Inland}}, \quad (4)$$

$$q_{\text{Lakeside}} = (q_{\text{Lakeside}1} + q_{\text{Lakeside}2} + \dots + q_{\text{Lakeside}n})/n, \quad (5)$$

$$q_{\text{Inland}} = (q_{\text{Inland}1} + q_{\text{Inland}2} + \dots + q_{\text{Inland}m})/m, \quad (6)$$

其中, W_{etII} 表示湿岛强度 (Wet Island Intensity, 单位: g/kg), q_{Lakeside} 为湖区站点比湿 (单位:

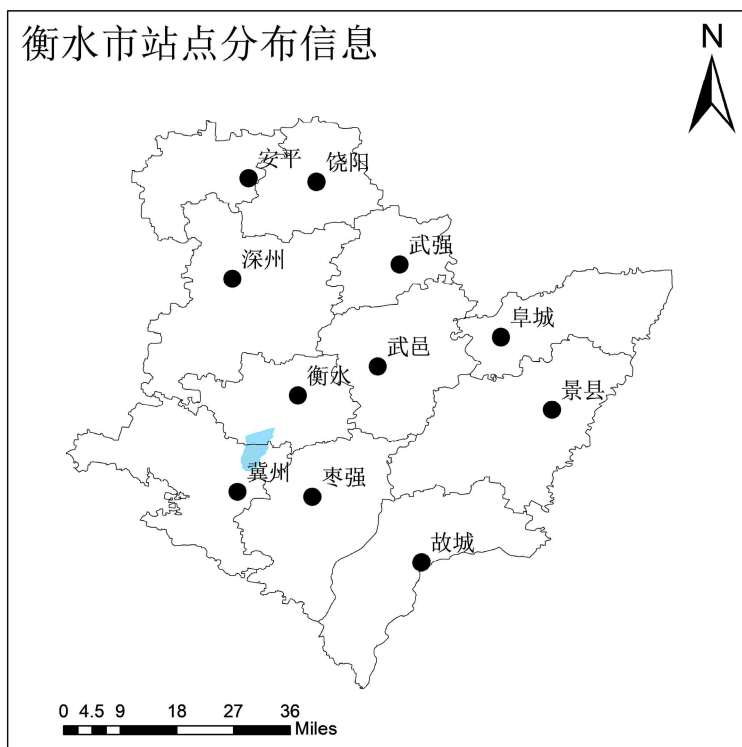


图 1 衡水市气象站点分布 (蓝色阴影部分表示衡水湖)

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Hengshui City (the blue shaded area indicates the location of Hengshui Lake)

g/kg), q_{Inland} 为湖区外站点比湿 (单位: g/kg)。 $q_{\text{Lakeside}n}$ 和 $q_{\text{Inland}m}$ 分别代表第 n 个湖区站点和第 m 个湖区外站点的比湿 (单位: g/kg)。

相对湿度容易受到温度影响, 即使水汽条件相同, 湖区温度较低的话, 也会使相对湿度增加, 在温度不等的情况下比较相对湿度来得到湿岛效应的强弱准确度降低, 因此选择将相对湿度换算成比湿 q 来比较湿岛强度:

$$e_s = 6.112 \exp\left(\frac{17.67t}{t + 243.5}\right), \quad (7)$$

$$e = \frac{R_H e_s}{100}, \quad (8)$$

$$q = 1000 \frac{0.622e}{p - 0.378e}, \quad (9)$$

其中, e_s 和 e 分别为饱和水汽压和水汽压 (单位: hPa), t 是气温 (单位: $^{\circ}\text{C}$), p 是气压 (单位: hPa), q 是比湿 (单位: g/kg), R_H 是相对湿度。

风岛强度指的是衡水湖风岛效应的强度, 表示为同一时间湖区与湖区外 2 min 平均风速的差异, 风岛强度的绝对值越大, 说明风岛效应越强。风岛强度表达式如下:

$$W_{\text{indII}} = V_{\text{Lakeside}} - V_{\text{Inland}}, \quad (10)$$

$$V_{\text{Lakeside}} = (V_{\text{Lakeside}1} + V_{\text{Lakeside}2} + \dots + V_{\text{Lakeside}n})/n, \quad (11)$$

$$V_{\text{Inland}} = (V_{\text{Inland}1} + V_{\text{Inland}2} + \dots + V_{\text{Inland}m})/m, \quad (12)$$

其中, W_{indII} 表示风岛强度 (Wind Island Intensity, 单位: m/s), V_{Lakeside} 为湖区站点 2 min 平均风速 (单位: m/s), $V_{\text{Inland}m}$ 为湖区外站点 2 min 平均风速 (单位: m/s)。 $V_{\text{Lakeside}n}$ 和 $V_{\text{Inland}m}$ 分别代表第 n 个湖区站点和第 m 个湖区外站点的 2 min 平均风速 (单位: m/s)。

3 结果与讨论

3.1 冷岛效应

为了更直观的研究衡水湖周围温度的分布情况, 说明衡水湖的冷岛效应, 用 Kriging 插值法分别以春、夏、秋、冬四季对衡水市 11 个气象局采集的温度进行插值, 得到衡水市各季节温度分布图 (图 2)。可以看出, 除了安平、饶阳、武强三县, 衡水湖所在区域的温度均低于其他区域。

4 个季节, 除去安平、饶阳、武强三县, 以冀

州为中心向外温度逐渐升高。由于衡水湖无站点数据, 故本文选取离衡水湖最近的冀州站点作为衡水湖的代表站点, 由图 2 可以看出, 对比衡水湖站点与周围其他站点的温度, 衡水湖站点温度更低, 说明衡水湖具有降温作用, 将该现象称作衡水湖的冷岛效应。冷岛效应即湖区温度普遍低于湖区外其他站点的温度。衡水湖具有冷岛效应, 与彭华青等 (2010)、张伟等 (2016)、崔丽娟等 (2015) 的研究结果相符, 湿地具有降温作用, 湖区温度明显低于湖区之外的温度。

根据以上结果, 选取冀州站点作为湖区温度站点, 选取枣强、衡水、故城、深州、武邑、景县、阜城 7 个站点作为湖区外温度站点, 代入公式 (1) 至公式 (3), 得到冷岛强度。对衡水湖冷岛效应的特征进行分析。

图 3 为 4 个季节冷岛强度的日变化, 展现了衡水湖冷岛效应的特征。从季节角度分析, 不同季节衡水湖的冷岛效应存在差异, 冷岛强度的绝对值大小代表冷岛效应的强弱, 冬季在 10:00 (北京时间, 下同) 至 16:00 具有热岛效应, 但持续时间不长, 除此之外, 其他时刻及其他季节所有时刻均表现出冷岛效应特征。从各个季节的平均强度来看, 春季的冷岛强度是最强的 (-0.71°C), 其次是冬季 (-0.69°C)、秋季 (-0.67°C), 夏季 (-0.52°C) 最弱。由图 3 可以看到, 01:00 至 09:00 是四季冷岛强度分布最清晰的时段, 该时段的冷岛强度由强到弱分别为: 冬季、秋季、春季、夏季, 其他时段, 相对来说, 春季最强, 夏季最弱。从日变化角度分析, 衡水湖的冷岛效应具有明显的昼夜特征, 即夜晚 (21:00 至 07:00) 的冷岛强度强于白天 (08:00 至 20:00)。另外, 冷岛强度四季都具有一致的日变化特征, 06:00 左右冷岛强度开始减弱, 09:00 至 16:00 冷岛强度的一个维持期, 17:00 之后冷岛强度逐渐增强, 凌晨也是冷岛强度的一个维持期。冷岛强度最大值出现在 04:00 至 06:00, 最小值出现在中午。至于出现该季节特征和昼夜特征的原因本文没有进行分析有待进一步研究。

3.2 湿岛效应

与冷岛效应研究方法相同, 用 Kriging 插值法分别以春、夏、秋、冬四季对衡水市 11 个站点的比湿进行插值, 得到衡水市各季节比湿分布图 (图 4)。由图 4 发现, 除了故城, 高湿度区集中在衡水湖附近, 并且比湿在空间上呈南北分布。

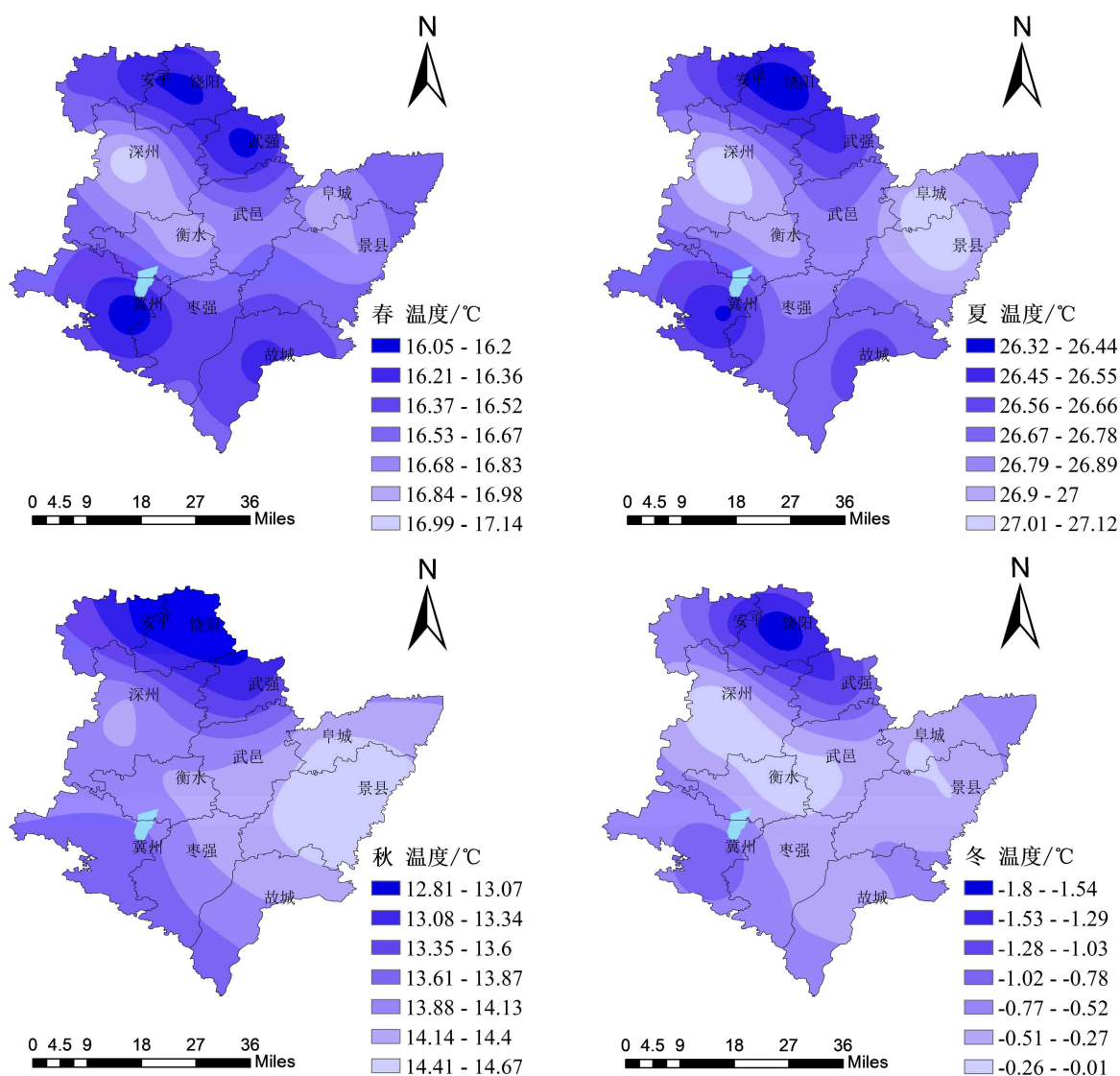


图2 2017年3月1日至2018年2月28日衡水市(a)春、(b)夏、(c)秋、(d)冬四季温度分布

Fig. 2 Temperature distribution in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter in Hengshui City from 1 March 2017 to 28 January 2018

4个季节,除去故城,以冀州为中心向北比湿逐渐减少。由图4可以看出,除了故城,冀州作为衡水湖的代表站点,其比湿明显高于其他站点,证实了衡水湖也具有增湿作用,将这种湖区内比湿高于湖区外其他区域比湿的现象,称作衡水湖的湿岛效应。崔丽娟等(2015)研究发现,湿地对局部环境具有明显的增湿作用,湿地附近比远离湿地的区域相对湿度高,距离水体越近,湿岛效应越强,相对湿度与距离成反比。这与本文衡水湖的研究结果大致相同,除了故城,随着距衡水湖距离的增加,比湿逐渐减少。

根据以上结果,选取冀州站点作为湖区比湿站点,选取枣强、衡水、安平、深州、武邑、景县、

阜城、武强、饶阳9个站点作为湖区外比湿站点,代入公式(4)至公式(6),得到湿岛强度。对衡水湖湿岛效应的特征进行分析。

图5为4个季节湿岛强度的日变化,展现了衡水湖湿岛效应的特征。从季节角度分析,衡水湖的湿岛效应具有明显的季节特征,湿岛强度的绝对值大小代表湿岛效应的强弱。从各个季节的平均强度来看,四季的强度排名为夏季、春季、秋季、冬季。由图5可以看到,00:00至09:00湿岛强度由强到弱分别为:夏季、春季、秋季、冬季,其他时段,相对来说,春、秋季不相上下,夏季最强,冬季最弱。从日变化角度分析,春季和秋季,衡水湖的湿岛效应具有明显的昼夜特征,与冷岛效应相反,白

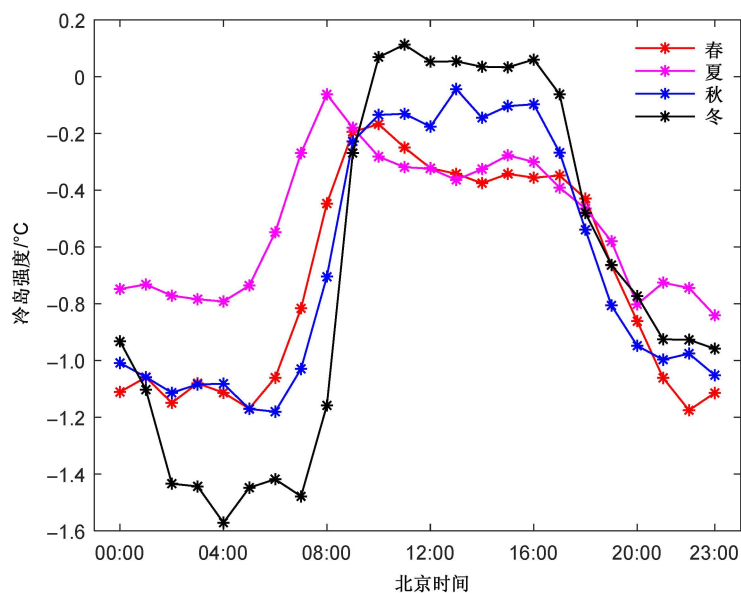


图3 2017年3月1日至2018年2月28日衡水湖冷岛强度的日变化季节差异

Fig. 3 Seasonal differences in daily variation of cold island intensity of Hengshui Lake from 1 March 2017 to 28 January 2018

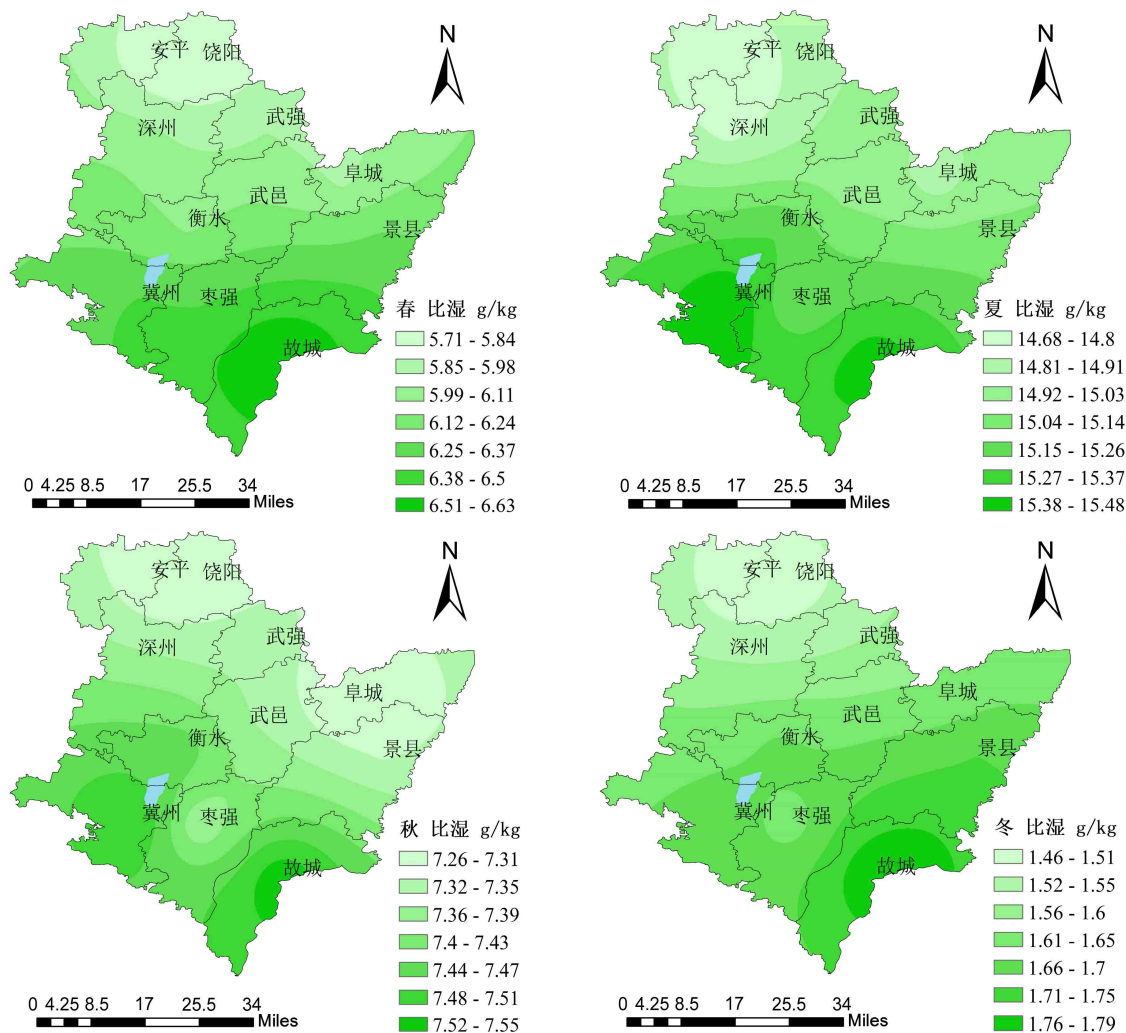


图4 2017年3月1日至2018年2月28日衡水市 (a) 春、(b) 夏、(c) 秋、(d) 冬四季比湿分布

Fig. 4 Specific humidity distribution in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter in Hengshui City from 1 March 2017 to 28 January 2018

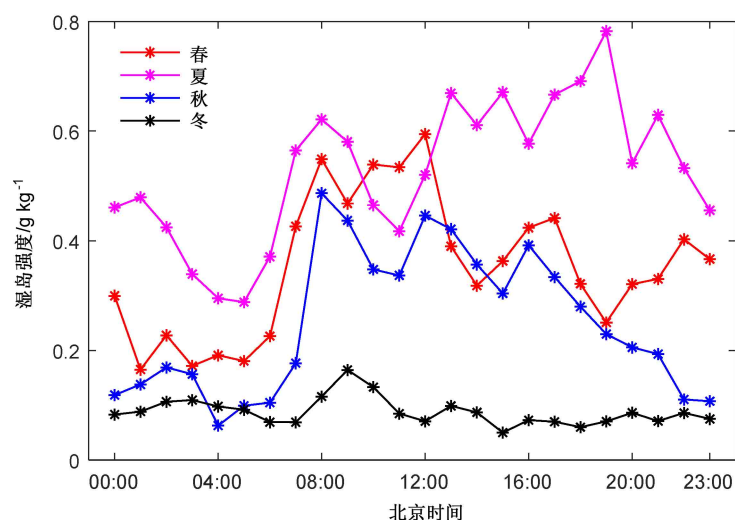


图5 2017年3月1日至2018年2月28日衡水湖湿岛强度的日变化季节差异

Fig. 5 Seasonal differences in diurnal variation of wet island intensity in Hengshui Lake from 1 March 2017 to 28 January 2018

天的湿岛效应比夜晚的湿岛效应更强。04:00 左右湿岛强度开始增强, 16:00 之后湿岛强度逐渐减弱, 夏季 19:00 湿岛强度最强, 秋、冬两季湿岛强度最大值出现在 08:00 至 09:00。

3.3 风岛效应

用 Kriging 插值法分别以春、夏、秋、冬四季对衡水市 11 个气象局采集的 2 min 风速进行插值, 得到衡水市各季节 2 min 风速分布图 (图 6)。根据图 6 结果, 对比衡水湖与周边区域的 2 min 风速, 发现衡水湖所属区域的 2 min 风速高于其他区域, 但是没有离湖区越远 2 min 风速越小的规律。

如图 6, 衡水湖地区的 2 min 风速明显高于其他站点, 除了夏季, 2 min 风速在冀州是呈圆圈状逐渐向外减少。由于湖区的 2 min 风速显著高于湖区外其他区域, 同冷、湿岛效应将衡水湖的这种特征称作衡水湖的风岛效应。湿地具有风岛效应这个结论与张伟等 (2016)、彭小芳等 (2008) 的结论相同, 彭小芳等 (2008) 发现近水体的平均风速随距离的增加而减少, 但是距离越远这个规律将不再存在, 正好与图 6 呈现的 2 min 风速空间分布结果一致, 在较小的范围内, 2 min 风速呈阶梯式递减。

根据以上结果, 选取冀州作为湖区 2 min 风速站点, 选取枣强、衡水、安平、深州、武邑、景县、阜城、故城、饶阳、武强 10 个站点的 2 min 风速平均值作为湖区外 2 min 风速站点, 代入公式 (10) 至公式 (12), 得到风岛强度。对衡水湖风岛效应的特征进行分析。

图 7 为 4 个季节风岛强度的日变化, 展现了衡水湖风岛效应的特征。从季节角度分析, 衡水湖的风岛效应强度具有季节性差异, 风岛强度的绝对值大小代表风岛效应的强弱。从各个季节的平均强度来看, 四个季节的强度排名为春季 (0.81 m/s)、夏季 (0.55 m/s)、冬季 (0.50 m/s)、秋季 (0.50 m/s)。由图 7 可以看到, 一天之中春季的风岛强度最大, 其他季节强度不相上下, 规律没有冷岛效应和湿岛效应那么明显。从日变化角度分析, 衡水湖的风岛效应具有明显的昼夜特征, 衡水湖的风岛效应在白天比夜晚强。00:00 风岛效应开始下降, 08:00 左右风岛强度开始增强, 10:00 至 15:00 风岛强度维持在一个较高的水平, 15:00 之后风岛强度逐渐下降, 17:00 之后是一个维持时段, 风岛强度最大出现在 10:00。

3.4 四季响应的风向分析

衡水湖面积相对研究区域湖面较小, 气象站分布区域较大, 为了说明区域地理小气候作用时空影响区域。图 8 给出冀州站 (衡水湖的代表站点) 四季的风向分布图, 判断湖陆风对水汽的输送对比湿和温度的响应。

从图 8 中发现, 春、夏、秋三季以偏北风为主, 冬季南北风比较均衡, 结合图 2、4、6 四季的温度、比湿以及 2 min 风速空间分布情况分析, 偏北的湖陆风使温度的空间分布呈现以冀州站为中心, 越往北越高, 即冷岛效应越来越弱, 比湿以冀州站为起点越往北越小, 这样的分布特征是与湖陆风对水汽输送的方向吻合的。

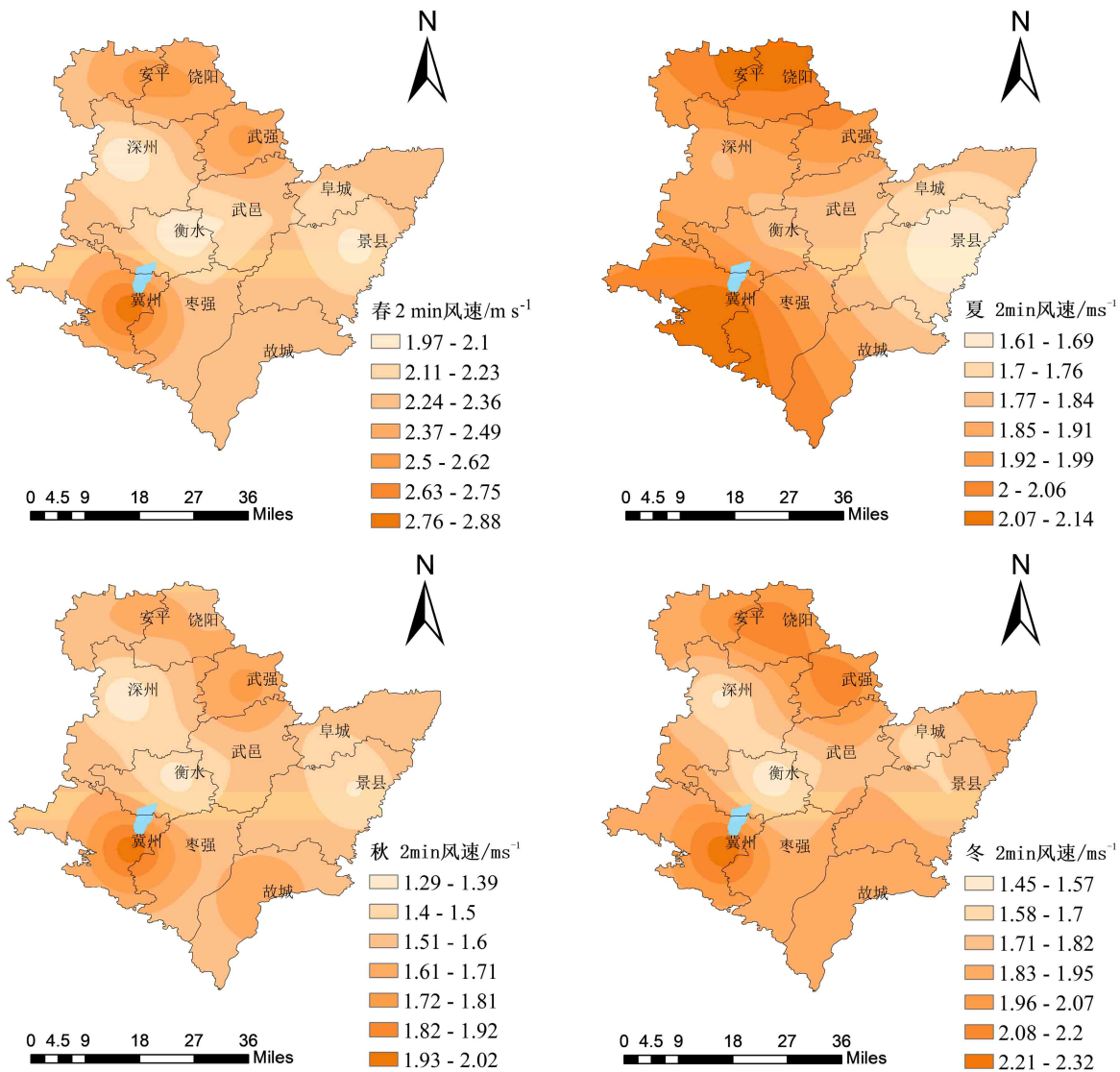


图6 2017年3月1日至2018年2月28日衡水市(a)春、(b)夏、(c)秋、(d)冬四季2 min 平均风速分布

Fig. 6 Distribution of 2-min wind speed in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter in Hengshui City from 1 March 2017 to 28 January 2018

3.5 讨论

已有研究表明,湿地水体具有降温增湿的作用,产生所谓的“冷岛”、“湿岛”效应,李书严等(2008)研究发现湿地除了具有降温增湿作用,还可以使地面风速增加。上文证实了衡水湖具有湿地的“冷岛”、“湿岛”、“风岛”这样的小气候效应。关于冷岛效应,有以下两种解释,湿地水体的热容量大,增温较弱使湖区温度偏低(彭华青等, 2010),水面上平均风速较大,有更大的水面蒸发和蒸发耗热从而具有降温效应(李书严等, 2008)。由于湿地水体的存在,水面输送水汽使水体周围比湿增加,因此湿地具有增湿效应。风速的大小与下

垫面的粗糙度有关,湿地水体的存在使地面粗糙度减小(李书严等, 2008)从而使衡水湖周围的风速增大,形成了风岛效应。

从效应强度上分析,衡水湖春、秋、冬季的冷岛效应强于北京市面积为 2 km^2 的水体的冷岛效应,且与该水体的研究结果(李书严等, 2008)相比,衡水湖的风岛效应显著。但是,与其他研究(彭小芳等, 2008; 张伟等, 2016)对比发现,衡水湖的“冷岛”、“湿岛”、“风岛”效应,均弱于西湖和广州一些湿地的对应效应,西湖以及广州湿地的水体面积小于衡水湖,故湿地小气候效应强度与水体面积不是单一的正相关关系,影响方式复杂,有待

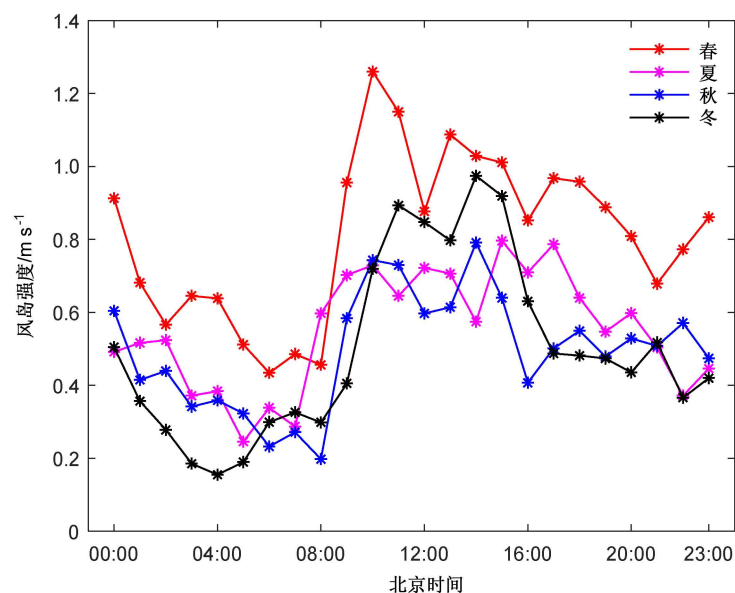


图7 2017年3月1日至2018年2月28日衡水湖风岛强度的日变化季节差异

Fig. 7 Seasonal differences in the diurnal variation of wind island intensity in Hengshui Lake from 1 March 2017 to 28 January 2018

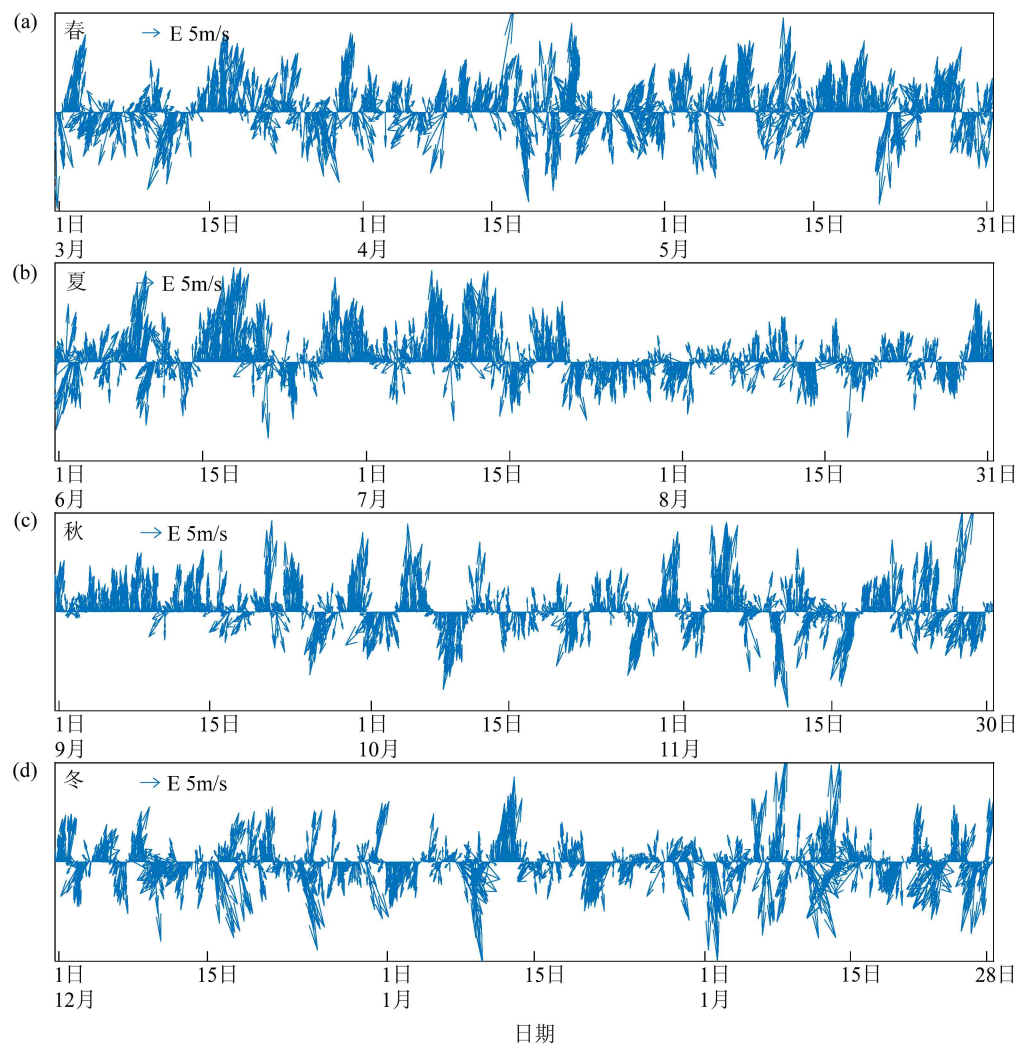


图8 2017年3月1日至2018年2月28日冀州站 (a) 春、(b) 夏、(c) 秋、(d) 冬四季的风向分布

Fig. 8 Wind directions in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter at Jizhou station from 1 March 2017 to 28 January 2018

进一步研究。另外,有一些研究发现(李书严等, 2008; 彭小芳等, 2008; 崔丽娟等, 2015), 效应的强度与距离有关, 随着与湿地距离的增大, 温度逐渐升高, 相对湿度逐渐减少, 风速逐渐减少, 并且温度、相对湿度、风速差值的绝对值也越来越小。但是, 本文的研究中, 风速、比湿和 2 min 风速没有十分明显的类似规律, 究其原因可能是上述研究中, 各个站点与湿地的距离是米量级的, 而本文中的站点与湿地的距离是千米量级的, 所以规律并不是那么明显, 之后有机会可以亲自布点监测, 更精密的研究衡水湖的小气候效应。

以上研究发现, 衡水湖小气候效应具有季节特征和昼夜特征, 各季节平均的冷岛效应由强到弱依次为春季、冬季、秋季、夏季, 湿岛效应由强到弱分别为夏季、春季、秋季、冬季, 风岛效应由强到弱依次为春季、夏季、冬季、秋季, 这与太湖(彭华青等, 2010)和西湖(张伟等, 2016)的研究结果不完全相同, 说明湿地小气候效应特征可能不具有普遍性, 需要多对几个湿地进行研究, 进一步探究效应强度季节特征的成因。本研究发现衡水湖白昼的冷岛效应弱于黑夜, 白昼的湿岛效应和风岛效应强于黑夜, 这一规律与此前西湖(张伟等, 2016)的研究结果一致, 之后可以多研究几个湿地的小气候效应, 验证该昼夜特征的普遍性, 并且研究湿地小气候效应昼夜特征的成因。

4 结论与展望

衡水湖具有冷岛、湿岛、风岛三种小气候效应。温度和 2 min 风速都是以湖区为中心, 以圆圈状向外变化(增大或减少), 比湿的空间分布则是以湖区为集中区, 向北减少。冷岛、湿岛、风岛效应分别具有降温、增湿和使风速增大的作用, 这些小气候效应影响衡水湖周围的陆地使之具有相对低温高湿风速大的特征。

衡水湖的小气候效应具有季节特征。衡水湖各季节平均的冷岛效应由强到弱依次为春季、冬季、秋季、夏季, 湿岛效应由强到弱分别为夏季、春季、秋季、冬季, 风岛效应由强到弱依次为春季、夏季、冬季、秋季。总的来说, 春季和冬季都表现出很强的小气候效应。

衡水湖的小气候效应具有昼夜特征。夜晚的冷岛效应强于白天, 湿岛效应和风岛效应正相反, 白

天强度大于夜晚。较强冷岛效应出现在凌晨 04:00 和 22:00, 较强的湿岛效应出现在 08:00 和 17:00, 较强的风岛效应出现在 08:00 和 12:00 左右。

本文采用统计方法对衡水湖的小气候效应进行研究, 得到了衡水湖小气候效应的特征, 但是研究的不够全面, 仍有能进步的空间。目前, 关于湿地小气候效应的研究较少, 若今后再对几个较大的湿地进行研究, 寻找规律, 验证湿地小气候效应特征, 得到一套合理完整的规律。还有这些小气候效应的季节和昼夜特征的成因, 之后也可以进一步探讨。

参考文献 (References)

- Christensen T R, Jonasson S, Callaghan T V, et al. 1999. On the potential CO₂ release from tundra soils in a changing climate [J]. *Appl. Soil Ecol.*, 11(2-3): 127-134. doi:10.1016/S0929-1393(98)00146-2
- 崔希东. 2013. 衡水湖湿地对降水量影响的初步研究 [J]. *南水北调与水利科技*, 11(5): 26-28, 42. Cui Xidong. 2013. Preliminary study on the effects of Hengshui Lake wetland on precipitation [J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology (in Chinese)*, 11(5): 26-28, 42. doi:10.3724/SP.J.1201.2013.05026
- 崔丽娟, 康晓明, 赵欣胜, 等. 2015. 北京典型城市湿地小气候效应时空变化特征 [J]. *生态学杂志*, 34(1): 212-218. Cui Lijuan, Kang Xiaoming, Zhao Xinsheng, et al. 2015. Spatiotemporal variation in the microclimate effects of typical urban wetland in Beijing [J]. *Chinese Journal of Ecology (in Chinese)*, 34(1): 212-218. doi:10.13292/j.1000-4890.2015.0031
- 董忆锋. 1995. 衡水地区水利志 [M]. 石家庄: 河北人民出版社, 250-252. Dong Yifeng. 1995. Water Conservancy Situation in Hengshui Area (in Chinese) [M]. Shijiazhuang: Hebei People's Publishing House, 250-252.
- 傅抱璞. 1997. 我国不同自然条件下的水域气候效应 [J]. *地理学报*, 52(3): 246-253. Fu Baopu. 1997. The climatic effects of waters in different natural conditions [J]. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 52(3): 246-253. doi:10.3321/j.issn:0375-5444.1997.03.007
- 纪文真, 陈先刚, 姚平, 等. 2014. 滇西北高原未干扰湖滨湿地小气候特征 [J]. *中南林业科技大学学报*, 34(11): 90-97. Ji Wenzhen, Chen Xiangang, Yao Ping, et al. 2014. Microclimate characteristics of lakeside undisturbed wetlands in northwest plateau of Yunnan province [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology (in Chinese)*, 34(11): 90-97. doi:10.3969/j.issn.1673-923X.2014.11.018
- Lahmer W, Pfützner B, Becker A. 2001. Assessment of land use and climate change impacts on the mesoscale [J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 26(7-8): 565-575. doi:10.1016/S1464-1909(01)00051-X
- 雷媛, 孙彭龄. 2001. 浙江近百年气温变化的初步研究 [J]. *科技通报*, 17(6): 62-66. Lei Yuan, Sun Pengling. 2001. A preliminary study on the centennial variation of temperature in Zhejiang [J]. *Bulletin of*

- Science and Technology (in Chinese), 17(6): 62–66. doi:10.3969/j.issn.1001-7119.2001.06.012
- 李书严, 轩春怡, 李伟, 等. 2008. 城市中水体的微气候效应研究 [J]. 大气科学, 32(3): 552–560. Li Shuyan, Xuan Chunyi, Li Wei, et al. 2008. Analysis of microclimate effects of water body in a city [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32(3): 552–560. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2008.03.12
- 聂晓, 王毅勇. 2010. 沼泽湿地局地小气候“冷湿岛”效应 [J]. 生态与农村环境学报, 26(2): 189–192. Nie Xiao, Wang Yiyong. 2010. "Cold-Humidity Island" effect of marsh wetlands on localized microclimate [J]. Journal of Ecology and Rural Environment (in Chinese), 26(2): 189–192. doi:10.3969/j.issn.1673-4831.2010.02.017
- 彭小芳, 孙逊, 袁少雄, 等. 2008. 广州城市湿地的景观特点及小气候效应 [J]. 生态环境, 17(6): 2289–2296. Peng Xiaofang, Sun Xun, Yuan Shaoxiong, et al. 2008. Landscape characteristics and microclimatic effects of the urban wetlands in Guangzhou City [J]. Ecology and Environment (in Chinese), 17(6): 2289–2296. doi:10.3969/j.issn.1674-5906.2008.06.036
- 彭华青, 钱培东, 朱凌云. 2010. 太湖局地小气候特征 [J]. 气象与环境学报, 26(1): 27–31. Peng Huaqing, Qian Peidong, Zhu Lingyun. 2010. Local microclimate characteristics near Tai Lake [J]. Journal of Meteorology and Environment (in Chinese), 26(1): 27–31. doi:10.3969/j.issn.1673-503X.2010.01.006
- Rodriguez-Iturbe I. 2000. Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate–soil–vegetation dynamics [J]. Water Resour. Res., 36(1): 3–9. doi:10.1029/1999WR900210
- 孙世卫, 孙世贤, 翟硕莉, 等. 2016. 衡水市大气污染现状与防治对策研究 [J]. 科技经济导刊 (29): 108, 50. Sun Shiwei, Sun Shixian, Zhai Shuoli, et al. 2016. Study on the status quo of air pollution and countermeasures in Hengshui [J]. Technology and Economic Guide (in Chinese)(29): 108, 50. doi:10.3969/j.issn.1007-1547.2016.29.088
- Wang H J, Jing L, Gao Y X. 2006. A simulation study on the shrunk wetland around Qinghai Lake and regional climate [J]. Wetland Science, 3(2): 87–93.
- 杨一鹏, 曹广真, 侯鹏, 等. 2013. 城市湿地气候调节功能遥感监测评估 [J]. 地理研究, 32(1): 73–80. Yang Yipeng, Cao Guangzhen, Hou Peng, et al. 2013. Monitoring and evaluation for climate regulation service of urban wetlands with remote sensing [J]. Geographical Research (in Chinese), 32(1): 73–80.
- 张伟, 朱玉碧, 陈锋. 2016. 城市湿地局地小气候调节效应研究——以杭州西湖为例 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 38(4): 116–123. Zhang Wei, Zhu Yubi, Chen Feng. 2016. The regulatory effects of local microclimate in urban wetland a case study of West Lake in Hangzhou, China [J]. Journal of Southwest University (Natural Science) (in Chinese), 38(4): 116–123. doi:10.13718/j.cnki.xdzk.2016.04.018