

Analysis on Climate Change in the Region of Liaohe Delta Coastal Wetland

Qingyu Jia^{1,2}, Wenying Yu¹, Xiaoying Wang¹, Yanbing Xie¹, Chenghua Liang^{2*}, Guohong Lv¹, Rihong Wen¹

¹Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang Liaoning

²Shenyang Agricultural University, Shenyang Liaoning

Email: beyond.22@126.com, ^{*}liang110161@163.com

Received: Sep. 8th, 2017; accepted: Sep. 21st, 2017; published: Sep. 26th, 2017

Abstract

Based on the meteorological observation data from 1961 to 2012 in Liaohe delta coastal wetland, we compare and analyze the meteorological elements such as the atmospheric temperature, annual humidity, precipitation, evaporation between wetland and dry land. Mann-Kendall test technique is applied to analyze the trend and jump change. The results show that the annual average temperature increased obviously with the rate 0.31°C/10a over the past 52 years, while the jump change appeared in 1988; The annual average cumulative evaporation decreased obviously with the rate 55 mm/10a, while the jump change appeared in 1986, their relative humidity and cumulative precipitation increasing performance were not significant. The warming trend of wetland climate is higher than that of the surrounding dry land. The annual average temperature of wetlands is 9.11°C, the monthly average temperature is greater than the surrounding dry land, and the wetland can slow down the environment temperature change greater than the surrounding dry land, especially in winter. The annual average relative humidity of wetland is 66%, it is less than the dry land in growing season, humidifying function mainly reflects in winter. Annual cumulative precipitation of wetland is 643.88 mm, which is 26.95 mm higher than dry land, and the phenomenon is more obvious from July to September. Annual cumulative evaporation of wetland is 1540 mm, which is 74 mm lower than dry land.

Keywords

Coastal Wetland, Climate Change, Trend, Abrupt Change

辽河三角洲滨海湿地气候变化分析

贾庆宇^{1,2}, 于文颖¹, 王笑影¹, 谢艳兵¹, 梁成华^{2*}, 吕国红¹, 温日红¹

¹中国气象局沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳

^{*}通讯作者。

²沈阳农业大学, 辽宁 沈阳
Email: beyond.22@126.com, ¹liang110161@163.com

收稿日期: 2017年9月8日; 录用日期: 2017年9月21日; 发布日期: 2017年9月26日

摘要

利用辽河三角洲滨海湿地及周边旱地气象站1961~2012年的逐月地面观测资料,对比分析了温度、湿度、降水量、蒸发等气象要素变化。应用Mann-Kendall法对变化趋势和突变进行了分析。结果表明:近52a来辽河三角洲滨海湿地的平均气温表现明显上升趋势,倾向率为 $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,突变时间在1988年,蒸发量表现明显下降趋势,倾向率为 $55\text{ mm}/10\text{a}$,突变时间在1986年,相对湿度和降水量表现为上升趋势不显著。湿地气候存在比旱地更高的增暖趋势,湿地年平均气温 9.11°C ,月平均温度大于周边旱地,尤其是在冬季能减缓气温降低;湿地年平均相对湿度66%,在生长季小于旱地,增湿作用主要体现在冬季;湿地年降水量 643.88 mm ,比旱地高 26.95 mm ,主要集中在7~9月份;湿地年蒸发量 1540 mm ,比旱地低 74 mm 。

关键词

滨海湿地, 气候变化, 趋势, 突变

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

滨海湿地是全球三大湿地类型之一,是陆地生态系统和海洋生态系统的交错过渡地带,众多野生动植物赖以生存和繁衍的场所。按国际湿地公约的定义,滨海湿地的下限为海平面以下6米处(习惯上常把下限定在大型海藻的生长区外缘),上限为大潮线之上与内河流域相连的淡水或半咸水湖沼以及海水上溯未能抵达的入海河的河段[1]。全球滨海湿地的分布面积仅为 $20.3 \times 10^4\text{ km}^2$,而滨海湿地碳的积累速率却远远高于泥炭湿地[2],为 $C(210 \pm 20)\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。与其他的生态系统类型相比,湿地是隐域性生态系统,不像森林和草地生态系统具有明显的气候地带性(纬度地带性和垂直地带性)分布规律,但是湿地尤其是滨海湿地对气候变化特别敏感,是全球气候变化的关键区域之一。

滨海湿地是我国海岸带极其重要、生产力最高、生物多样性最为丰富的关键区域,我国的大陆海岸线长达 $1.8 \times 10^4\text{ km}$,滨海滩涂 $380\text{ 万公顷} \times 10^4\text{ hm}^2$,是滨海经济发展的生态屏障和未来可持续发展的根本保障。辽宁省就有两处极其重要的环渤海滨海湿地被列入国家级自然保护区,有双台河口湿地($12.8 \times 10^4\text{ hm}^2$)和丹东鸭绿江口湿地($10.1 \times 10^4\text{ hm}^2$)。其中辽河三角洲湿地是我国和亚洲最大的暖温带滨海湿地,属暖温带大陆性半湿润季风气候,冷凉湿润,四季分明,雨热同季,有世界第一大芦苇湿地之称。滨海湿地附近海域,也被海洋生态学者形象地比喻为渤海、黄海海洋生物的“产床”和“摇篮”。

滨海湿地受到气候变化的威胁最为严重,反映在大面积沼泽湿地面积萎缩、生物多样性降低等脆弱性方面[3],但得到的关注和保护却不足,濒危的滨海湿地正持续退化[4]。有必要对该地区近几十年来气候变化的具体情况进行研究,本研究利用近52年辽宁滨海湿地及附近旱地气象站的气候资料,对

比两者的趋势和突变规律。

2. 材料与方法

2.1. 研究区域概况

辽河三角洲,地处 40°41'~41°27'N, 121°30'~122°41'E, 海拔高度为 0.0~3.8 m。年平均气温为 8.6°C, 7 月平均气温为 24.4°C, 1 月平均气温为-9.8°C, 无霜期为 171 d, 大于等于 10°C 积温为 3509°C。年平均降水量为 631 mm, 降水量集中在 7~9 月份。年蒸发量为 1390~1705 mm, 为年降水量的 2.5 倍左右[5] [6]。双台子河在本区是半地下式河流, 年内有 2/3 时间是河水补给地下水, 1/3 时间是地下水补给河水, 并受潮汐影响。

选择位于辽河三角洲的滨海湿地气象站(位于盘锦市大洼县代表类型水稻/芦苇)与邻近 11.4 km 的旱地气象站(位于盘锦市盘山县代表类型玉米)作为研究区和对比区。气象站资料来自于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.nmic.cn/home.do>), 数据均经过了经过气候界限值或允许值、台站极值、定时值(日平均值)与日极值内部一致性、时间一致性、空间一致性以及人工核查与更正等质量控制, 考虑数据资料的连续完整性, 本研究的时间段设定为 1961~2012, 见表 1。

2.2. 研究方法

应用 Mann-Kendall 检验法进行气候变化趋势和突变分析, 是多数人认为理论基础和应用效果好的一种方法, 被世界气象组织推荐并已广泛使用于分析降水、径流、气温和水质等[7] [8] [9]。

2.2.1. 气候变化趋势分析

在 Mann-Kendall 检验中, 原假设 H_0 为时间序列数据 (x_1, x_2, \dots, x_n) , 是 n 个独立的、随机变量同分布的样本; 备择假设 H_1 是双边检验。对于所有的 $i, j \leq n$, 且 $i \neq j$, x_i 和 x_j 的分布是不相同的。定义检验统计量 S :

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(X_i - X_j)$$

其中, $\text{sign}()$ 为符号函数。当 $X_i - X_j$ 小于、等于或大于零时, $\text{sign}(X_i - X_j)$ 分别为-1、0 或 1。S 为正态分布, 其均值为 0, 方差 $\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18$ 。

M-K 统计量公式 S 大于、等于、小于零时分别为:

$$\begin{cases} Z = (S-1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S > 0 \\ Z = 0 & \\ Z = (S+1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S < 0 \end{cases}$$

在双边趋势检验中, 对于给定的置信水平 α , 若 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$, 则原假设 H_0 是不可接受的, 即在置信水平 α 上, 时间序列数据存在明显的上升或下降趋势。Z 为正值表示增加趋势, 负值表示减少趋势。Z 的绝对值在大于等于 1.28、1.64、2.32 时表示分别通过了信度 90%、95%、99% 显著性检验[10]。

Table 1. Average climate characteristics of 1961-2012

表 1. 1961~2012 年平均气候特征

样点	代表区域	经纬度	海拔高度(m)	代表类型	平均气温	累积降水量	平均相对湿度	累积蒸发量
Wet	湿地	41.01°N 122.04°E	3.8m	水稻/芦苇	9.11	643.88	66.00	1540
Dry	旱地	41.11°N 122.01°E	4.6m	玉米	8.81	615.93	65.90	1614

2.2.2. 突变检测分析

选用 Mann-Kendall 法进行气候突变检测, 是一种非参数统计检验方法, 可以明确突变开始的时间 [10]。该方法的优点在于检测范围宽、人为性少, 定量程度高, 计算也比较简便 [11], 其统计量函数为:

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}}, \quad (k=1, 2, \dots, n)$$

给定显著性水平 $\alpha = 0.05$, 当 $|UF_k| > U_{0.05}$ 时表示趋势通过了 0.05 显著性检验 ($U_{0.05} = \pm 1.96$), $\alpha = 0.001$, 当 $|UF_k| > U_{0.001}$ 时表示趋势通过了 0.001 显著性检验 ($U_{0.001} = \pm 2.56$)。所有 UF_k 将组成一条曲线 UF , 把同样的方法引用到反序列中, 得到另一条曲线 UB , 将统计量曲线 UF 、 UB 和 ± 1.96 、 ± 2.56 四条直线均绘在同一张图上, 如果 UF 的值 > 0 则表明序列呈上升趋势, < 0 则表明呈下降趋势, 如果 UF 和 UB 两条曲线出现交点, 且交点在临界线之间, 那么交点对应的时刻便是突变开始的时间 [12]。

3. 结果与分析

3.1. 年际气候变化特征对比分析

将辽河三角洲滨海湿地及其周边地区 1961~2012 年气象站点所观测的历年气象数据累加、求和、取平均值后, 得到年际间的气象数据 (图 1)。湿地站和旱地站的多年平均气温分别为 9.11°C 和 8.81°C , 湿地站纬度较低于旱地可能是平均气温高于旱地的原因。升温率为 $0.31^\circ\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.28^\circ\text{C}/10\text{a}$, 均通过了 99% 的显著性检验, 升温速率高说明气候变暖对湿地的影响程度更强, 未来两者的平均温度差值可能会继续增大。变化趋势均在波动中显著升高, 但湿地波动曲线相比旱地有一定的时间滞后性。湿地的平均相对湿度比旱地站略高 0.1%, 分别为 66% 和 65.9%, 变化趋势是线性增加, 未通过显著性检验。

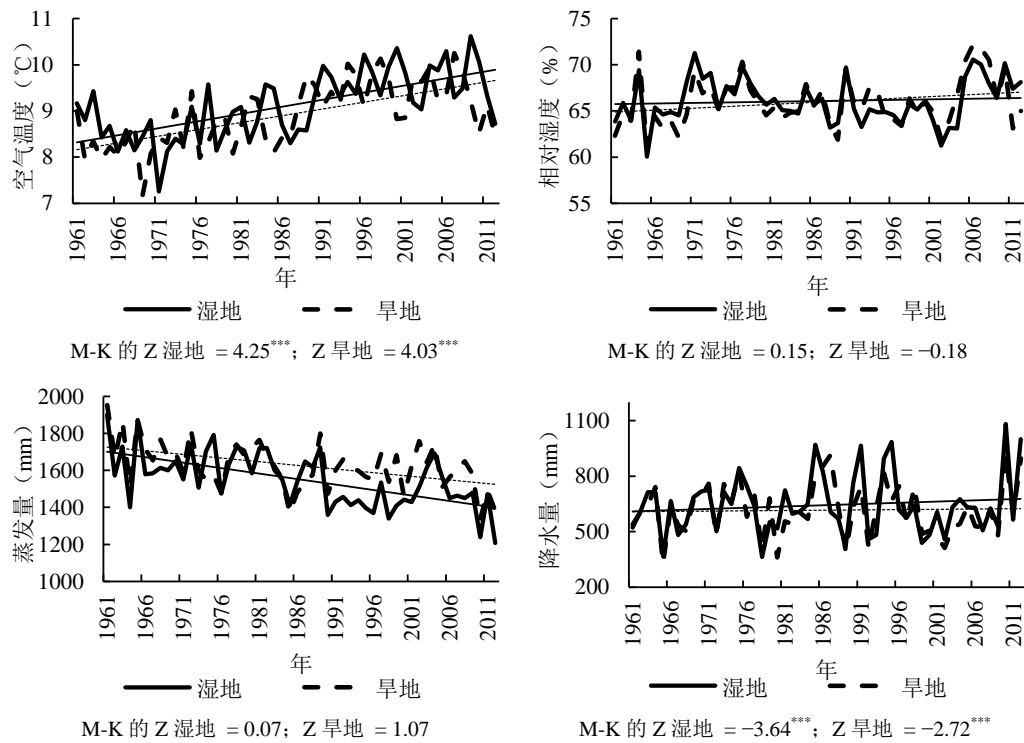
湿地站和邻近旱地站的年平均累积降水量分别为 643.88 mm 和 615.93 mm, 湿地站比旱地站偏高 26.95 mm, 年际间波动振幅较大, 线性趋势未通过显著性检验。2010 年湿地站降水量最多为 1081.7 mm 和 1965 年最少为 366.2 mm。湿地站和邻近旱地站的年平均累积蒸发量分别为 1540 mm 和 1614 mm, 变化趋势均在波动中显著降低, 降低率为 $55 \text{ mm}/10\text{a}$ 、 $36 \text{ mm}/10\text{a}$, 均通过了 99% 的显著性检验, 一般温度与蒸发量正相关, 气温变化趋势是上升不是引起蒸发量的减少的原因, 因此蒸发量降低原因可能是径流或地下水补给不足引起的。

3.2. 月气候特征对比分析

将 1961~2012 年的月气候数据求平均获得两站的月平均气象数据, 如图 2 所示湿地站和邻近旱地站月气候变化趋势基本一致, 均呈单峰曲线。平均气温、相对湿度、降水量最大值都在 7 月份最高分别约为 $24.6^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$ 、 $81.9\% \pm 0.04\%$ 、 $168 \pm 3 \text{ mm}$ 。空气温度和降水量的最低值在 1 月份, 相对湿度最低值在 3 月份。蒸发与降水不同步, 5 月份蒸发量最大, 除 7 月份~8 月份降水量接近蒸发量, 大气中的水气收支平衡外, 其它月份均为水气向大气中流失。

用湿地站的月平均气象数据减旱地站的月平均得到差值。如图 3 所示 5 月份湿地站与旱地站月平均温度差异不大, 其它月份的月平均温度均高于旱地站, 差值最大的是 1 月、12 月份分别高出了 0.64°C 和 0.45°C , 因为水分充足的湿地比旱地热容量大, 通过与大气之间的热量交换能减缓冬季气温的降低; 相对湿度差值比较, 在 6 月~10 月份湿地低于旱地, 7 月份相差最大达 1.04%, 在相同大气压下空气的相对湿度跟温度成反比, 温度越高饱和蒸汽压越大, 11 月份~5 月份湿地高于旱地。

比较湿地站和旱地站降水量差可以看出, 在降水比较集中的 7~9 月份是中降水量差大, 8 月份湿地站比旱地站大 18.32 mm, 6 月份和 10 月份比旱地站小, 其中 6 月份小于旱地站 8.29 mm, 其它月份略高



Z 的绝对值在大于等于 1.28^{*}、1.64^{**}、2.32^{***}时表示分别通过了置信度 90%，95%和 99%的显著性检验[12]。

Figure 1. Wetlands and surrounding dry station annual climate data contrast in 1961-2012

图 1. 1961~2012 年湿地站与邻近旱地站年气候资料对比

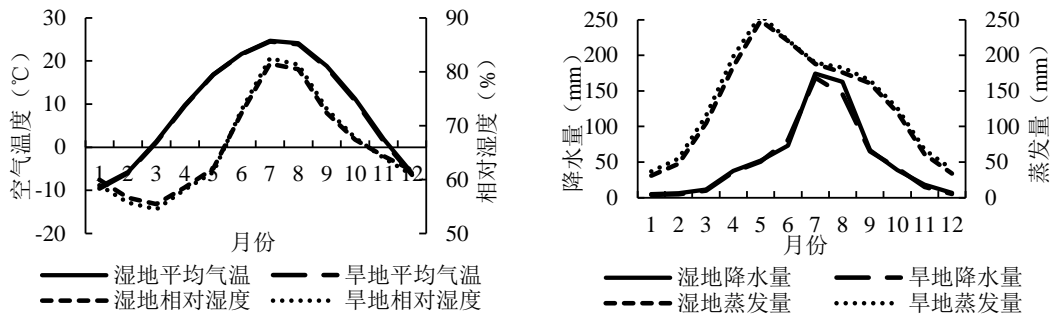


Figure 2. Wetlands and surrounding dry station month climate data contrast in 1961-2012

图 2. 1961~2012 年湿地与邻近旱地站月气候资料对比

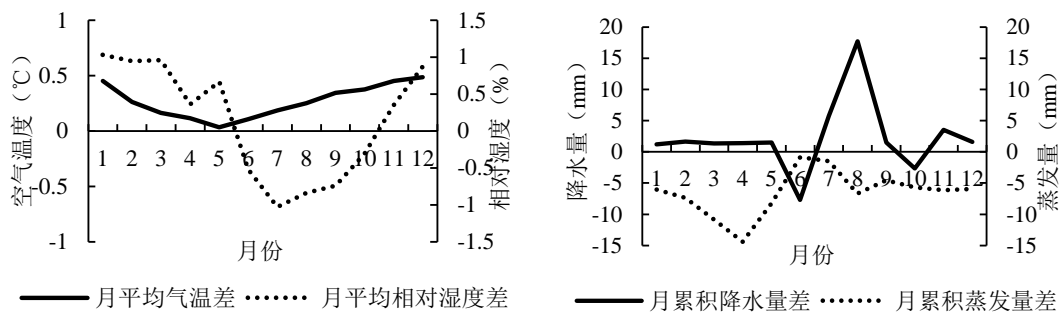


Figure 3. Wetlands and surrounding dry station monthly mean difference in 1961-2012

图 3. 1961~2012 年湿地与邻近旱地站月平均差

于旱地；从蒸发来看湿地站各月的蒸发量均比旱地站小，4月份差值最大 13.93 mm，6 月份和 7 月份两者比较相近。

3.3. 气候突变的对比分析

根据 M-K 图 4 所示，湿地站和旱地站均有明显增暖趋势，增暖趋势均超过显著性水平 0.001 临界线 ($U_{0.001} = \pm 2.56$)，表明湿地站和邻近旱地站气温上升趋势极明显。湿地站从 1983 年开始气温显著增加，发生突变的时间为 1988 年；旱地站从 1971 年开始气温显著增加，发生突变的时间为 1979 年，湿地站气

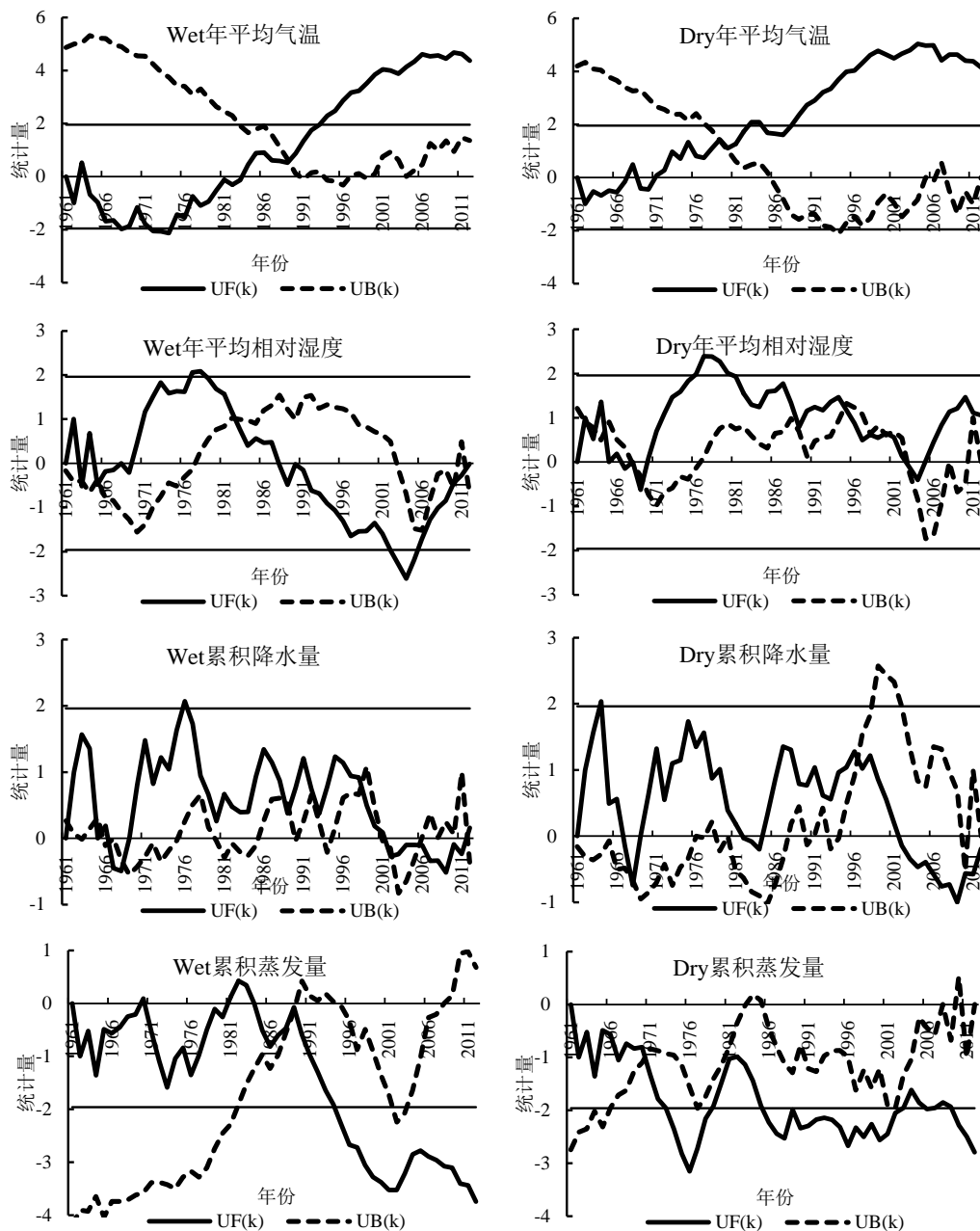


Figure 4. M-K comparison analysis of the climatic change trend of wetland and surrounding dry station in 1961-2012

图 4. 1961~2012 年湿地与邻近旱地站气候突变趋势 M-K 对比分析结果

温显著增加时间和突变时间要比旱地站推迟 10 年左右。相对湿度仅少部分年通过了显著性水平 0.05 的临界线, 上升和下降的趋势都不显著, 湿地站从 1969 年~1981 年平均相对湿度呈上升趋势, 1982 年~2003 年呈下降趋势, 突变时间是 1982 年, 旱地站从 1970 年~1989 年呈上升趋势, 1990 年~2003 年呈下降趋势, 2003 年后湿地站和旱地站的相对湿度均呈上升趋势。

湿地站累积降水量从 1969 年~2000 年趋势上升但未通过显著性检验, 2001 年后降水量下降, 2010 年突变上升, 在 1987 年~1996 年、2010 年~2012 年出现多次突变; 旱地站趋势与湿地站基本一致, 突变时间 1968 年、1997 年、2010 年~2012 年。湿地站累积蒸发量在 1961 年~1985 年呈下降趋势, 1986 年出现突变, 下降趋势超过显著性水平 0.001 临界线($U_{0.001} = \pm 2.56$), 旱地在 1971 年~1976 年下降趋势超过显著性水平 0.001 临界线, 1986 年~2011 年下降趋势超过显著性水平 0.05 临界线, 突变时间是 1971 年、1981 年和 2002 年。

4. 讨论

通过收集分析滨海湿地附近气象台站近 52 年滨海湿地空气温度、降水、相对湿度、蒸发等气候特征和变化规律, 给出了平均气温及降水等参数的多时间尺度变化特征及其突变特征。在全球气候变暖的大背景下辽河三角洲滨海湿地相比旱地更脆弱, 升温率为 $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 但增温速率低于扎龙湿地 $0.11^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ [13], 温度升高会促进土壤碳矿化, 影响土壤的碳汇功能[14]。已有研究表明, 三江平原的东部湿地区比已垦湿地区气温低 0.4°C 。使博斯腾湖区及周边地区比其它地区气温低 $1.3^{\circ}\text{C}\sim 4.3^{\circ}\text{C}$, 相对湿度增加 $5\%\sim 23\%$ [15], 受纬度和海洋影响, 辽河三角洲滨海湿地的夏季“降温”作用与周边地区相比不十分明显。而在冬季由于湿地水体的影响, 表现出比旱地生态系统具有更高的温度。一次明显的突变发生在 1988 年, 这次突变与扎龙湿地发生突变的时间[13] [16]一致。

数据分析表明辽河三角洲滨海湿地的空气相对湿度是略有增加的, “增湿”作用主要体现在冬季, 由于相同大气压下温度高不会引起饱和水汽压低, 因此相对高的湿度是因为湿地冬季也会有水汽从土壤或水面向大气中输送, 显示湿地调节空气湿润的能力好于旱地, 即夏天不过份潮湿、冬天不过份干燥, 会使人体感觉更舒适。

湿地降水量明显比周边的旱地高, 受气候变化影响没有明显下降但年际间波动振幅较大, 1960~1984 年、1998~2009 年两个阶段降水量下降趋势明显, 2010~2012 年上升幅度较大, 连续丰水期与连续少水期交替出现, 湿地这种水源涵养功能亦能减少区域性旱涝灾害发生的可能性。辽河三角洲滨海湿地蒸发量年变化趋势是减少的, 月蒸发量大于降水量, 为水汽向大气中流失, 近几年尤其是 2012 年的年平均气温降低, 气温升高明显, 风速有加大趋势, 这些都有利于蒸发量上升。辽河三角洲滨海湿地上近 50 余年的蒸发观测数据显示却略呈下降趋势, 在中国以及世界很多国家都存在的“蒸发悖论”(evaporation paradox), 同样也出现在了高原湿地区, 如若尔盖湿地[11], 由于蒸发量的变化受到多种因素共同作用, 且之间具有复杂的非线性关系, 应综合分析各因素的影响。

基金项目

中国气象局沈阳大气环境研究所项目(2016SYIAEZD2、2017SYIAEMS2)、国家自然科学基金项目(41405109、41375146)、辽宁省气象局科研课题(BA201607), 共同资助。

参考文献 (References)

- [1] 关道明. 中国滨海湿地[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
- [2] Chmura, G.L., Anisfeld, S.C., Cahoon, D.R. and Lynch, J.C. (2003) Global Carbon Sequestration in Tidal, Saline Wetland Soils. *Global Biogeochemistry Cycles*, **17**, Article ID: GB1111. <https://doi.org/10.1029/2002GB001917>

- [3] Niu, Z.-G., Zhang, H.-Y., Wang, X.-W., et al. (2012) Mapping Wetland Changes in China between 1978 and 2008. *Chinese Science Bulletin*, **57**, 1400-1411.
- [4] 王宁, 张利权, 袁琳, 等. 气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(7): 2248-2258.
- [5] 周广胜, 周莉, 关恩凯, 等. 盘锦湿地生态系统野外观测站概况[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(4): 1-6.
- [6] 侯守贵, 隋国民, 马兴全, 等. 辽宁省水稻产业发展现状及展望[J]. 北方水稻, 2012, 42(5): 70-73.
- [7] Gocic, M. and Trajkovic, S. (2013) Analysis of Changes in Meteorological Variables Using Mann-Kendall and Sen's Slope Estimator Statistical Tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, **100**, 172-182.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- [8] Kisi, O. and Ay, M. (2014) Comparison of Mann-Kendall and Innovative Trend Method for Water Quality Parameters 175 of the Kizilirmak River, Turkey. *Journal of Hydrology*, **513**, 362-375.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.005>
- [9] 江远安, 陈鹏翔, 邵伟玲, 等. 近 50a 塔克拉玛干沙漠和古尔班通古特沙漠及其周边地区气候变化特征的对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(3): 14-23.
- [10] 张盛霖, 邓高燕, 黄勇奇. Mann-Kendall 检验法在 Excel 中的实现与应用[J]. 中国科技论文在线, 2014.
- [11] 戴洋, 罗勇, 王长科, 等. 1961-2008 年若尔盖高原湿地的气候变化和突变分析[J]. 冰川冻土, 2010, 32(1): 35-42.
- [12] 张星, 彭云峰, 谢怡芳, 等. 闽江河口湿地气候变化趋势与突变分析[J]. 中国农业气象, 2010, 31(3): 364-368.
- [13] 张苗苗, 牛忠清, 郑凯. 扎龙湿地周边地区近 50 年干湿特征分析[J]. 安徽农业科学, 2015(3): 261-266.
- [14] 王丹, 吕瑜良, 徐丽, 等. 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6436-6443.
- [15] 余国营. 湿地研究的若干基本科学问题初论[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 177-183.
- [16] 沃晓棠, 孙彦坤, 玄明君, 等. 气候变暖背景下扎龙湿地气候变化特征[J]. 气象科技, 2011, 39(1): 38-43.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: crl@hanspub.org