

松嫩平原半干旱区湿地变化与局地气候关系

刘雁^{1,2}, 刘吉平^{1,2}, 盛连喜²

(1. 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 吉林四平 136000;

2. 东北师范大学国家环境保护湿地生态与植被恢复重点实验室, 吉林长春 130117)

摘要:湿地是对气候变化最敏感的生态系统,同时其面积的消长也对气候变化产生一定的影响.为了更客观、也更直观地表达半干旱区湿地变化与局地气候的关系,采用实证和统计研究方法,选择湿地变化较为显著的松嫩平原半干旱区为研究区域,分析其在1985~2010年间湿地的时空动态变化过程,在此基础上研究湿地面积及分布格局变化对局地气候的影响.结果表明,研究区湿地面积和格局变化对局地气候的影响主要体现在5~9月最高气温和降水量的变化上,湿地面积增加,最高气温上升幅度和降水量下降幅度变小,湿地面积减少,最高气温上升幅度和降水量下降幅度变大.最高气温和降水量变化与湿地格局变化在空间分布上呈现较好的对应关系.研究区的湿地、草地和林地对局地气候的调节以湿地的贡献率最显著,因此湿地的冷湿效应是调节局地气候、缓解气候暖化的主要途径.

关键词:湿地变化;局地气候;半干旱区;松嫩平原

中图分类号:K903 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.0253-2778.2015.08.007

引用格式: Liu Yan, Liu Jiping, Sheng Lianxi. Relationship between wetland change and local climate in the semi-arid zone of the Songnen Plain[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2015, 45(8): 655-664.

刘雁, 刘吉平, 盛连喜. 松嫩平原半干旱区湿地变化与局地气候关系[J]. 中国科学技术大学学报, 2015, 45(8): 655-664.

Relationship between wetland change and local climate in the semi-arid zone of the Songnen Plain

LIU Yan^{1,2}, LIU Jiping^{1,2}, SHENG Lianxi²

(1. College of Tourist and Geoscience, Jilin Normal University, Siping 136000, China;

2. State Environmental Protection Key Laboratory of Wetland Ecology and Vegetation Restoration, Northeast Normal University, Changchun 130117, China)

Abstract: Wetlands are most sensitive to climate change, and their growth and decline can influence climate change. In order to express more intuitively the relationship between wetland change and a local climate in its semi-arid zone, the spatio-temporal characteristics of wetland change in the semi-arid zone of the Songnen Plain from 1985 to 2010 was studied, and the impact of large areas of wetland change on the local climate was analyzed by means of the empirical analysis and statistical method. Results showed that

收稿日期:2015-07-12;修回日期:2015-08-27

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-12-0730),吉林省科技发展计划项目(20100425)资助.

作者简介:刘雁,女,1977年生,博士/副教授.研究方向:土地利用变化及环境效应. E-mail:sply0709@163.com

通讯作者:盛连喜,博士/教授. E-mail:shenglx@nenu.edu.cn

because of the increase of paddy fields, the total area of wetland in the studied area was on the rise. The wetland change produced an impact on the local climate, mainly on maximum temperature and precipitation during the period of May to September. The growth of the wetland area could reduce the increment of maximum temperature and the decrement of precipitation, and the decrease in wetland area could increase the increment of maximum temperature and decrement of precipitation. The changes in maximum temperature and precipitation corresponded respectively with wetland change in spatial distribution. Wetland change played a more important role in moderating local climate compared to the contribution of woodland and grassland change in the studied area. Therefore, the cold-humid effect of wetlands is the key factor in regulating local climates and mitigating climate warming.

Key words: wetland change; local climate; semi-arid zone; Songnen Plain

0 引言

湿地是一种特殊的下垫面类型。一方面,湿地是对气候变化最敏感的生态系统,其组成、结构、分布和功能与气候因子密切相关,气候变化对湿地生态系统产生深刻影响^[1]。另一方面,改变了的湿地景观又会对气候造成一定的影响,影响的尺度包含全球、区域和局地^[2-3]。由于湿地在反照率、热容量、粗糙度、能量交换方面与其他土地利用/覆被类型存在差异,湿地具有增加湿度、降低温度的冷湿气候效应,因此湿地变化能够对局地气候产生调节作用^[4-6]。认知湿地下垫面对局地气候的影响,对于揭示湿地生态功能、评价湿地在生态环境中的作用具有重要意义。

湿地对局地气候的影响与湿地面积、季节等因素有关。Gordon^[7]和 Hostetler 等^[8]的研究表明,湖泊湿地能够增加大气湿度,降低夏季日最高气温,升高日最低气温。中国三江平原由于湿地大面积减少,地表热量平衡发生了显著的变化,湿地冷湿效应明显减弱^[9],年平均气温呈上升趋势,年降水量呈下降趋势^[10]。挠力河流域湿地大面积垦殖对最高和最低气温产生较大影响,尤其使最低气温上升速度更快。湿地变化具有调节局地气候功能的实证研究也在内蒙古达里诺尔湿地区、三江源等地区得到证实^[11-12]。

松嫩平原半干旱区是我国重要的湿地分布区,湿地类型以沼泽、湖泊、河流及水田为主。自 20 世纪 80 年代中期以来,由于人口迅速增加和农业生产发展,该地区大面积的沼泽和湖泊被开垦为耕地,自然湿地丧失严重,水田增加明显,湿地时空变化剧烈。本文选择该地区为研究区域,以遥感影像为数据来源,分析 1985~2010 年该地区湿地时空动态变化过程,并在此基础上探讨湿地变化对局地气温和降水

量的影响,为探索半干旱区人为干扰下湿地生态系统的变化特征和规律、揭示湿地生态服务功能和指导区域生态建设实践提供理论基础和科学依据。

1 研究区域

松嫩平原半干旱地区的主体部分位于 $43^{\circ}57' \sim 46^{\circ}46'N$, $121^{\circ}38' \sim 126^{\circ}22'E$ (图 1),总面积为 4.69 万 km^2 。行政区划上包括吉林省白城和松原所属的 10 个市(县)。研究区地处中国北方农牧交错带的东段,生态环境脆弱,对人类活动的影响比较敏感。湿地作为重要的生态功能单元,其发展变化对区域生态环境产生重要影响。2008 年,该区域开始实施《吉林省增产百亿斤商品粮能力建设总体规划》^[13],启动了土地整理工程、重大引水工程及大型灌区建设和改造工程。经过大规模的土地开发和旱田改造,土地利用类型和格局发生了重大变化,这种变化必将对湿地生态系统产生更多的人为干扰,进而对区域生态环境产生影响。

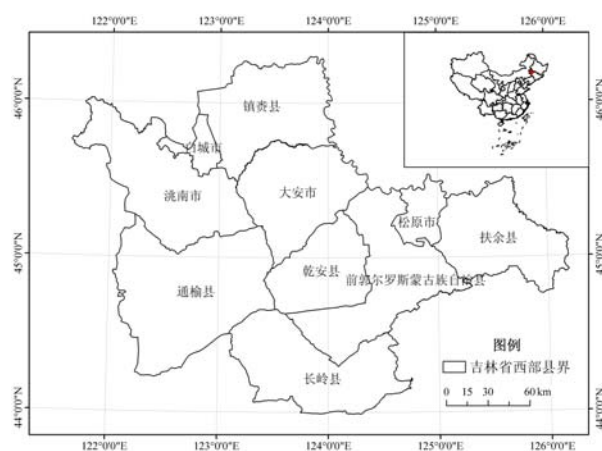


图 1 研究区的位置和行政区划图

Fig. 1 Geo-location and administrative division of the study area

2 数据与研究方法

2.1 数据来源与处理

本文采用的研究区 1985 年、2000 年和 2010 年 3 期土地利用数据,主要通过解译遥感影像而获得.选取的遥感数据为以上 3 期的 Landsat TM 影像,由美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)^[14]提供.3 期的 Landsat TM 遥感影像图处理步骤如下:①运用 ERDAS 软件对 TM 影像 4,3,2 波段进行标准假彩色合成,运用 ArcMap 软件对合成的影像进行几何纠正;②运用 Photoshop 对合成的影像进行均色处理,并对均色后的影像进行影像镶嵌;③以 1:10 万地形图为主控数据源,对 2010 年影像图进行配准,配准后分别与 1985 年和 2000 年的 TM 影像进行纠正,使平均位置误差控制在两个像元以内;④对配准和纠正后的 3 期影像图进行目视解译,得到研究区的 3 期土地利用图.为提高分类精度,采用人机交互式解译方法,并采用抽样统计精度验证法,经野外验证和高分辨率遥感影像检验,3 期遥感影像的分类准确度分别为 91.5%,93.2%和 94.6%,能够满足研究要求.

5~9 月是研究区内植物和作物的生长季,下垫面的蒸发蒸腾作用显著,对区域气候影响大,所以本文将气候数据的时段确定为 5~9 月,具体包括 1961~2013 年 5~9 月气温和降水量的格网数据($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$),以及 1980~2013 年前郭尔罗斯、乾安和通榆气象站的气温和降水量数据.气象资料来源于中国气象科学数据共享服务网^[15].

2.2 研究方法

2.2.1 网格分析法

利用 ArcGIS 软件,生成研究区 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的网格图(与气候格网数据的尺度相匹配),共生成 32 个网格(图 2).将正方形网格图与各个时期湿地空间分布图相叠加,统计每个网格的湿地面积,计算得到每个网格的湿地率(网格内的湿地面积除以网格的面积,再乘以 100%),再用后一个年代的湿地率减去前一个年代的湿地率,得到此时段内每个网格的湿地变化率.

2.2.2 气候倾向率

采用气候倾向率分析气候的变化趋势.在计算气候倾向率时,采用最小二乘法,计算气候要素样本 \hat{X}_i 与时间 t 的线性回归方程:

$$\hat{X}_i = at + b,$$

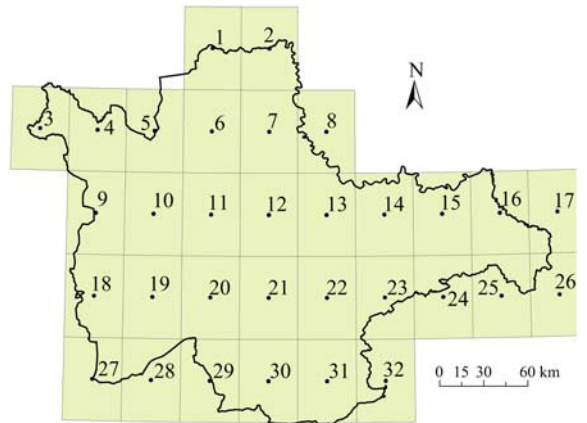


图 2 研究区域所划分的网格图及编号

Fig. 2 Grid diagram and code of the study area

式中, b 为常数项,线性回归系数 a 即为气候倾向率,用于表示气候要素随时间的变化速率,分析气象要素的线性化趋势, a 值的符号或正或负,表示气候要素呈现随时间或升高或降低的变化趋势,并且 a 的绝对值越大,表示变化速率越高^[16].

2.2.3 偏相关模型

在多要素所构成的地理系统中,在不考虑其他要素的影响下,单独研究两个要素之间的相互关系的密切程度,这种方法称为偏相关分析.本文采用偏相关模型对比分析湿地、林地和草地变化在气候调节中的作用.

2.2.4 克里格(Kriging)插值

克里格插值是地学中常用的一种空间插值方法,是以变异函数理论和结构分析为基础,在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法.本文用 ArcGIS9.3 的普通克里格插值对湿地变化率和气候倾向率进行插值,用以寻找湿地变化和气候变化的空间变异规律.

3 结果与分析

3.1 湿地变化特征

3.1.1 湿地面积变化

研究区各类型湿地面积和动态变化情况见表 1.由表 1 可以看出,1985~2010 年研究区湿地总面积呈上升趋势,增加了 1 674 km^2 ,增幅为 24.41%.湿地总面积的增加是由水田面积增加引起的,水田变化率和动态度在所有土地利用类型中居于首位.1985 年水田面积仅为 928 km^2 ,2000 年增加到 2 318 km^2 ,2010 年继续增加到 4 451 km^2 ,是

表 1 研究区 3 期湿地面积变化

Tab. 1 Area change of wetlands in the study area in 1985, 2000, and 2010

湿地类型	湿地面积/km ²			变化率/%			动态度/%		
	1985 年	2000 年	2010 年	1985~2000 年	2000~2010 年	1985~2010 年	1985~2000 年	2000~2010 年	1985~2010 年
沼泽	2 779	2 280	1766	-17.97	-22.54	-36.46	-0.82	-1.22	-0.88
河流湖泊	3 150	2 635	2314	-16.34	-12.2	-26.54	7.49	9.2	12.66
水田	928	2 318	4 451	149.87	92.03	379.82	-0.9	-2.25	-1.22
全部湿地	6 857	7 233	8 531	5.48	17.95	24.41			

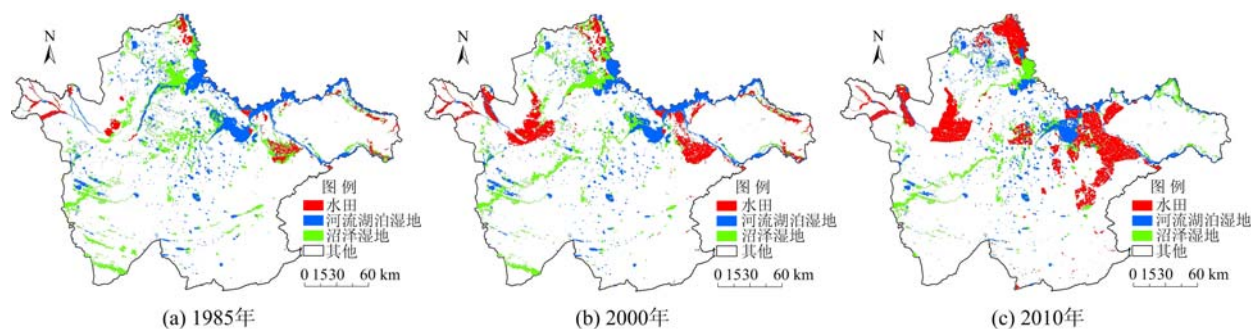


图 3 研究区 3 期湿地空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of wetlands in 1985, 2000, and 2010

1985 年的 4.8 倍, 占研究区面积的近 10%. 与此同时, 自然湿地面积(沼泽、河流湖泊)减少, 减幅为 1 849 km², 其中, 沼泽湿地面积减少了 1 033 km², 河流湖泊的期初面积较大, 是研究区主要的土地利用类型, 但其面积不断减少, 现已不在研究区占据优势地位.

3.1.2 湿地空间格局变化

利用 GIS 技术, 制作出研究区 1985 年、2000 年、2010 年 3 期的湿地空间分布图(图 3). 计算每个网格的湿地变化率, 并对其进行克里格插值, 得到研究区 1985~2010 年湿地变化率空间分布图(图 4).

从湿地的空间分布上看(图 3), 1985~2010 年自然湿地面积丧失较大的区域主要集中分布在嫩江、第二松花江沿岸, 以及查干泡、月亮泡等湖泊附近, 水田面积增加的区域主要位于前郭尔罗斯、洮南和镇赉, 这些区域与《吉林省增产百亿斤商品粮能力建设总体规划》中的土地整理工程和大型灌区建设及改造等工程区相重合. 从湿地变化率的空间分布上看(图 4), 研究区中东部的 前郭尔罗斯、松原、北部镇赉和西部白城湿地面积增加明显, 而西南部和南部湿地面积明显减少.

3.2 湿地变化对气温的影响

3.2.1 湿地变化对气温倾向率的影响

如图 4 所示, 尽管前郭尔罗斯(45°05'N, 124°

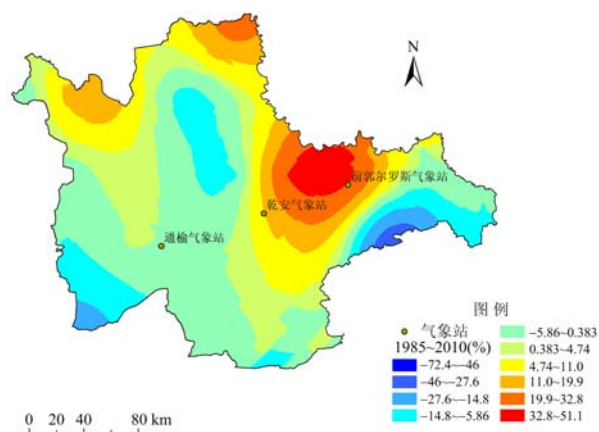


图 4 1985~2010 年研究区湿地变化率与前郭尔罗斯、乾安和通榆 3 站的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of wetland change rates during 1985~2010 and Qiangorlos, Qian'an, and Tongyu weather stations

52'E)、乾安(45°00'N, 124°01'E)和通榆(44°47'N, 123°04'E)3 个气象站所处纬度相近, 但其所在网格的湿地变化率明显不同. 如表 2 所示, 1985~2010 年前郭尔罗斯气象站所在网格的湿地变化率较大, 湿地面积增加了 51.1%, 乾安气象站所在网格的湿地变化率在三者里居中, 湿地面积增加了 11.16%, 而通榆气象站所在网格的湿地变化率较小, 湿地面积下降了 0.37%. 因此本文首先分析以上 3 个典型

地点的气候变化,进而分析研究区湿地变化和气温变化的关系。

表 2 3 个气象站所在网格不同时期的湿地率及湿地变化率(单位:%)

Tab. 2 Wetland rate and change rate of three weather stations in 1985, 2000, and 2010(unit:%)

气象站名称	1985 年	2010 年	1985~2010 年
前郭尔罗斯	7.97	59.12	51.14
乾安	4.51	15.67	11.16
通榆	3.91	3.54	-0.37

利用一元线性回归分析法对 3 站 1980~2013 年 5~9 月平均气温进行线性拟合(图 5)。拟合结果表明,前郭尔罗斯站($r = 0.616, n = 34, \alpha = 0.000106$)、乾安站($r = 0.654, n = 34, \alpha = 0.000027$)、通榆站($r = 0.610, n = 34, \alpha = 0.000128$)的 5~9 月平均气温都有显著性上升趋势,其线性倾向率分别为 $0.0366\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, $0.0462\text{ }^{\circ}\text{C/a}$ 和 $0.0468\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, 都通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。

如图 5 所示,前郭尔罗斯、乾安和通榆 3 站的 5~9 月多年平均气温分别为 $19.292\text{ }^{\circ}\text{C}$, $19.193\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $19.354\text{ }^{\circ}\text{C}$, 上升幅度分别为 $1.24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1.57\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1.59\text{ }^{\circ}\text{C}$, 即湿地面积增加最多的前郭尔罗斯气温上升幅度最小,湿地面积减少的通榆气温上升幅度最大,湿地面积变化居中的乾安气温上升幅度居中。所以本文初步认为,湿地面积增加可以减缓气温上升的幅度。

3.2.2 湿地变化对气温影响的数值模拟

本文选取平均气温、最高气温、最低气温 3 项指标,分别计算出 1980~2013 年 5~9 月网格平均气温倾向率、最高气温倾向率和最低气温倾向率,并利用 SPSS 软件建立它们各自与湿地变化率的

Pearson 相关系数(表 3)。结果表明,最高气温倾向率与湿地变化率之间显著相关,而平均气温倾向率和最低气温倾向率与湿地变化率的相关性没有通过显著性水平检验。于是,建立最高气温倾向率与湿地变化率的回归模型,见公式(1)。

$$y = 0.052 - 0.00024x \quad (1)$$

式中, x 为湿地变化率(1985~2010 年), y 为最高气温倾向率(1980~2013 年)。

表 3 气候倾向率与湿地变化率的 Pearson 相关系数

Tab. 3 Person correlation between tendency rates of climatic factors and change rate of wetlands

	平均气温倾向率	最高气温倾向率	最低气温倾向率
Pearson 相关系数	0.185	-0.445*	0.268
显著性水平(双尾度检验)	0.311	0.011	0.139
N	32	32	32

【注】 * 代表在 0.05 水平上显著(双尾度检验)

经 F 检验($F = 7.4, n = 32, \alpha = 0.011$), 回归模型(1)在 0.011 水平上显著。由此可以看出,最高气温倾向率与湿地变化率之间呈负相关关系,说明随着湿地面积增加,最高气温明显下降,相反地,湿地面积减少,最高气温是上升的。

由于 1980~2013 年研究区网格最高气温倾向率均在 0.05 水平上显著,且符合正态分布,所以我们对它进行克里格插值,得到研究区 5~9 月最高气温倾向率的空间分布图(图 6(a))。由图 6(a)可以看出,研究区 5~9 月最高气温倾向率均为正值,变化幅度为 $0.032\sim 0.071\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, 由东向西气温倾向率有逐渐增加的趋势。研究区的西南部增温明显,而东部增温幅度较小。在空间分布上,气温倾向率与湿地变化率之间呈现出较好的对应关系,研究区西南部正是湿地面积明显下降的区域,而中东部却是湿地面

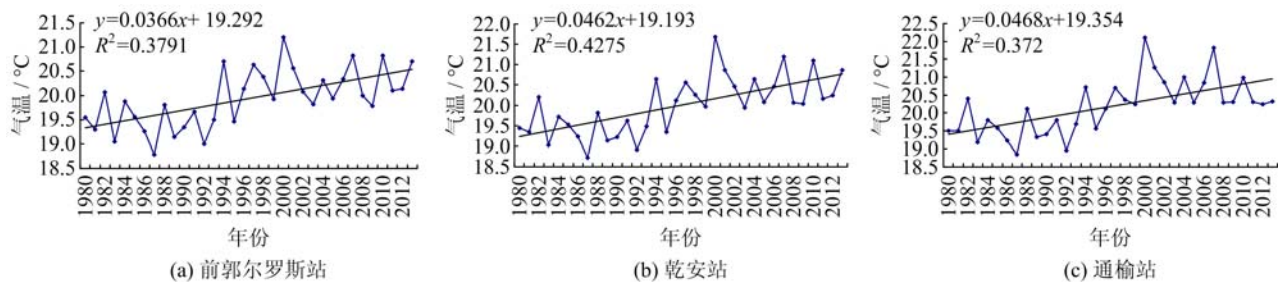


图 5 1980~2013 年前郭尔罗斯、乾安、通榆 3 站 5~9 月平均气温变化趋势

Fig. 5 Change trend of mean monthly temperature at Qian'angluo, Qian'an, and Tongyu weather stations from May to September during 1980~2013

积明显上升区域(图 4). 由此可以看出, 湿地面积变化明显影响 5~9 月的最高气温变化, 湿地面积增加可以减缓最高气温上升的幅度.

对比 1980~2013 年和 1961~1985 年最高气温倾向率分布图, 发现二者的空间格局差异较大. 1961~1985 年最高气温倾向率是由南向北逐渐升高, 由负值逐渐转变为正值, 最低值出现在研究区的东南部, 最高值出现在研究区的北部(图 6(b)). 之所以出现这种差异, 我们认为是由于两个时段内的下垫面格局变化引起最高气温倾向率空间格局变化. 有数据显示, 1954~1986 年研究区自然湿地面积减少了 3 940 km²[17], 与 1980~2013 年下垫面格局明显不同. 由此本文认为, 是湿地面积的显著变化造成了两个时段内最高气温倾向率在空间分布出现上述转变, 从而进一步证实了湿地面积变化能够调节局地最高气温.

3.3 湿地变化对降水量的影响

3.3.1 湿地变化对降水量倾向率的影响

利用一元线性回归分析法对前郭尔罗斯站、乾安站和通榆站 1980~2013 年 5~9 月的降水量进行

线性拟合(图 7). 拟合结果表明, 前郭尔罗斯站($r=-0.078, n=34, \alpha=0.661$)、乾安站($r=-0.117, n=34, \alpha=0.511$)和通榆站($r=-0.335, n=34, \alpha=0.05$)的 5~9 月降水量都有显著下降趋势, 其线性倾向率分别为 -0.7394 mm/a , -1.2603 mm/a 和 -3.2705 mm/a .

前郭尔罗斯、乾安和通榆 3 站的 5~9 月多年平均降水量分别为 357.3 mm, 345.8 mm 和 321.1 mm, 下降幅度分别为 25.1 mm, 42.9 mm 和 111.2 mm. 可以看出, 湿地面积增加最多的前郭尔罗斯降水量下降幅度最小, 湿地面积减少的通榆降水量下降幅度最大, 湿地面积变化居中的乾安降水量下降幅度居中. 所以本文初步认为, 湿地面积增加可以减缓降水量的下降幅度.

3.3.2 湿地变化对降水量影响的数值模拟

计算 1980~2013 年 5~9 月网格降水量倾向率, 并利用 SPSS 软件建立降水量倾向率与湿地变化率的 Pearson 相关系数(为 0.467), 且通过了显著性检验($\alpha=0.007$). 降水量倾向率与湿地变化率的一元线性回归模型见公式(2).

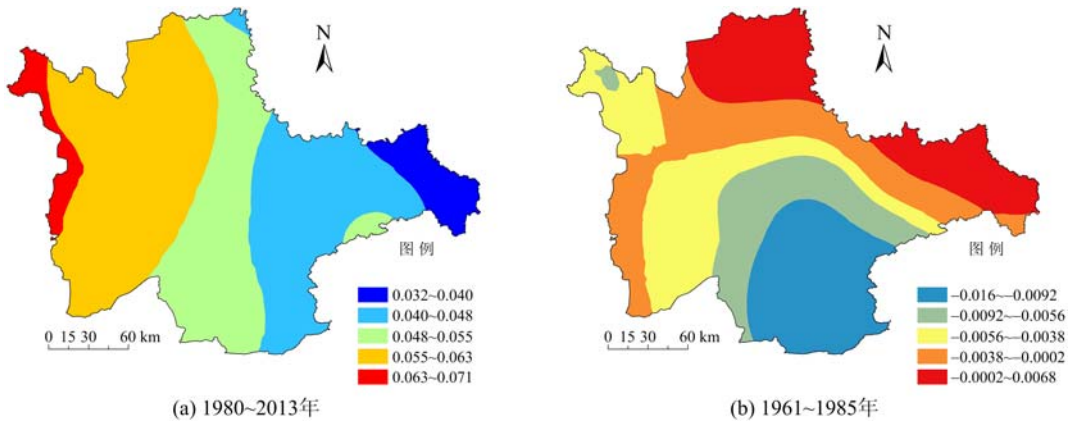


图 6 研究区 5~9 月最高气温倾向率的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of tendency rate of the maximum temperature in the study area

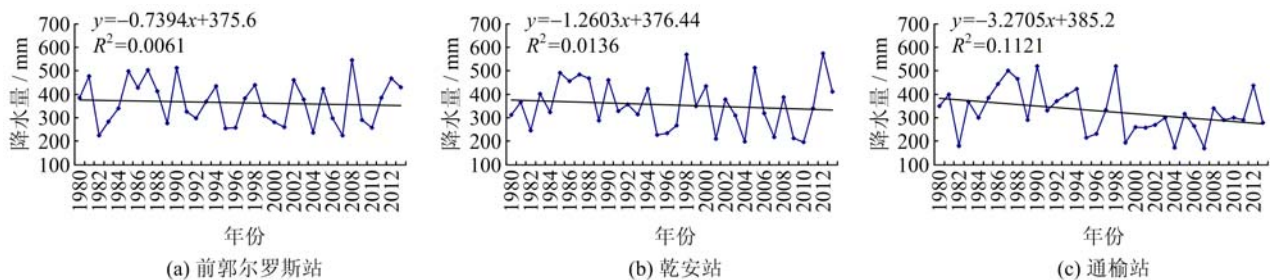


图 7 1980~2013 年前郭尔罗斯、乾安和通榆 3 站 5~9 月降水量变化趋势

Fig. 7 Change trend of precipitation of Qiangorlos, Qian'an, and Tongyu weather stations during 1980~2013

$$y_1 = -2.897 + 0.017x_1 \quad (2)$$

式中, x_1 为湿地变化率(1985~2010 年), y_1 为降水量倾向率(1980~2013 年).

经 F 检验($F=8.346, n=32, \alpha=0.007$), 回归模型(2)在 0.01 水平上显著. 由此可以看出湿地变化对 5~9 月的降水量变化有较大的影响, 二者之间呈现正相关关系. 说明随着湿地面积增加, 降水量倾向率随之增加, 相反地, 湿地面积减少, 降水量倾向率下降. 由于研究区降水量倾向率均小于 0, 所以湿地面积变化对降水量的影响体现为, 湿地面积增加使降水量下降的幅度减小, 反之, 湿地面积减少使降水量下降的幅度增大.

由于网格降水量倾向率均在 0.01 水平上显著, 并且符合正态分布, 因此对其进行克里格插值, 得到研究区 5~9 月降水量倾向率的空间分布图(图 8(a)). 由图 8(a)可以看出, 研究区降水量倾向率均为负值, 变化幅度为 $-4.34 \sim -1.51$ mm/a. 降水量倾向率的绝对值由东向西有逐渐增加的趋势. 研究区中东部降水量下降幅度最小, 研究区的西南部降水量下降幅度最大. 在空间分布上, 降水量倾向率与湿地变化率之间存在较好的对应关系, 研究区中东部正是湿地面积明显增加区域, 而西南部是湿地面

积明显下降的区域. 由此可以看出, 湿地面积变化不仅影响 5~9 月的最高气温, 而且也影响着降水量变化. 此外, 1980~2013 年和 1961~1985 年间, 研究区降水量倾向率的空间格局差异较大(图 8(b)), 本文认为, 这也是湿地面积变化造成的差异. 由此表明湿地面积增加可以减缓降水量的下降幅度, 湿地的冷湿效应可以降低气候暖化的危害程度.

3.4 湿地、林地和草地对局地气候影响的偏相关分析

1985~2010 年研究区草地和林地面积也发生了较大变化, 这种变化对局地气候是否会产生一定的影响? 它们的影响作用是否比湿地更重要? 为此, 我们通过计算偏相关系数比较了湿地、草地和林地对最高气温和降水量的影响作用(表 4).

由表 4 可以看出, 湿地变化率与最高气温倾向率和降水量倾向率的偏相关系数最大, 分别为 -0.522 和 0.562 , 显著性水平最高($\alpha=0.003, \alpha=0.001$). 其次是草地变化率, 在 0.075 和 0.059 水平上显著. 而林地变化率的偏相关系数没有通过显著性检验($\alpha=0.112, \alpha=0.178$). 从而验证了研究区湿地变化是影响 5~9 月最高气温和降水量的重要因素.

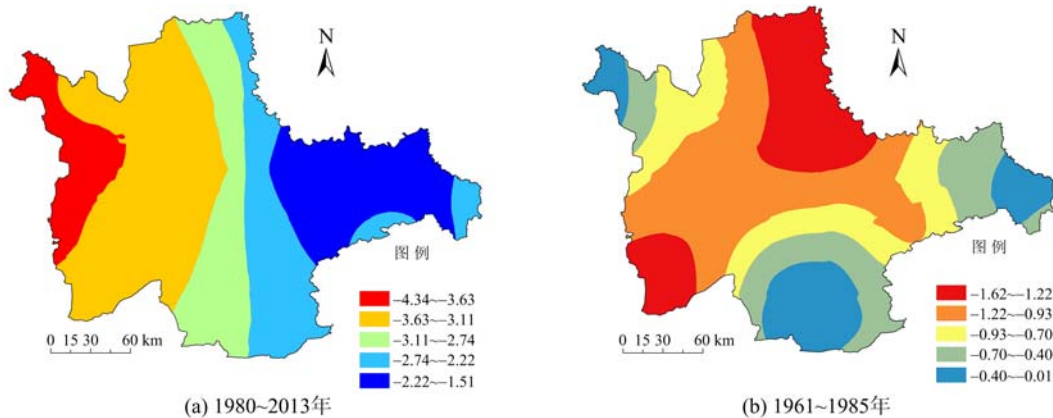


图 8 研究区 5~9 月降水量倾向率的空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of tendency rate of precipitation from May to September in the study area

表 4 湿地、草地和林地变化率与最高气温倾向率、降水量倾向率的偏相关系数

Tab. 4 Partial correlation coefficients for area changes of wetland, grassland, woodland and tendency rate of maximum temperature, precipitation

相关变量	控制变量	与最高气温倾向率的偏相关系数			与降水量倾向率的偏相关系数		
		偏相关系数	自由度	显著性水平	偏相关系数	自由度	显著性水平
湿地变化率	林地变化率、草地变化率	-0.522	28	0.003	0.562	28	0.001
草地变化率	湿地变化率、林地变化率	-0.329	28	0.075	0.308	28	0.059
林地变化率	湿地变化率、草地变化率	0.296	28	0.112	-0.252	28	0.178

4 问题讨论

观测与理论研究已经证实,由于不同下垫面的能量分配不同,下垫面发生变化后,原来地气系统之间的辐射、热量和水分平衡关系随之发生变化,这必然会导致气候的变化,所以下垫面改变常常是影响气候变化的重要因素.目前对下垫面变化的气候效应研究较多地在大中尺度上利用全球气候模式和区域气候模式进行数值模拟,但由于这两类气候模式的空间分辨率较低,当研究区域较小时,便不能正确描述地形和陆面物理特征,导致模拟结果不理想,这给下垫面变化的局地尺度气候效应的研究带来了一定困难.对已有观测气象数据进行统计分析,建立气候变化与下垫面变化之间的数学模型,是目前研究下垫面变化对局地气候效应影响的一种有效方法,本文以此为出发点,研究湿地变化对于局地气候的调节作用,从得到的结果看,这种方法学上的尝试是可行的.

湿地自由水面的水汽蒸发和湿地植被剧烈的水汽蒸腾为湿地调节局地气候提供了重要的物质基础,二者都直接或间接地影响着湿地分布区的气候和环境^[18].湿地面积的减少会使湿地集中分布区气候出现暖干化^[12],相反地,湿地面积的增加则会使湿地集中分布区气候出现冷湿化.近年来,研究区水田增加尤为显著,湿地变化较为剧烈,对局地最高气温和降水量产生了一定的影响,其影响机理主要在于以下两个方面:

首先,湿地的冷湿气候效应显著.由于湿地长期或季节性积水,水热容量大,能量消耗多,所以湿地的热量平衡特征不同于旱田^[19],湿地用于加热大气的热量很少,湿地成为冷源.此外,湿地植被生长繁茂,植被的蒸腾和水分的蒸发旺盛,使湿地上空及其周边空气湿度较大,在一定空间范围内,形成局部湿气场,造成湿地上空或周围附近地带空气增温困难,温度降低.由于研究区地处半干旱区,湿地冷湿效应强度与太阳辐射和蒸散作用的强度密切相关,一天当中,随着太阳辐射的增强,湿地和植被中的水汽蒸发蒸腾量逐渐加大,空气湿度不断增大,地表能量消耗逐步增多,到中午及午后时段,冷辐射和蒸散作用表现得最为强烈,冷湿效应强度在此时段也达到最强,造成湿地上空和附近地带气温升高较为缓慢、最高气温降低,从而使湿地对局地最高气温具有明显的延迟和调节作用.

其次,下垫面的非均一性较为明显,是影响研究区局地环流及降水的重要因素.与均一性的下垫面相比,非均一性的下垫面通过影响温、湿、风、降水的空间分布,能够对区域及其邻域的短期降水产生更为明显的影响^[20].在半干旱地区,在适合的天气背景下,非均一性下垫面所激发的气流上升运动更强,容易诱发对流雨^[21-22].裸地和植被的过渡地带、灌溉地带和非灌溉地带的过渡地带通常是产生大气对流的最佳地点^[23-24].研究区的湿地与旱田之间边缘带普遍存在着冷湿气候的边缘效应,在作物生长季内,这种边缘效应更加明显^[25],造成湿地与周围地块间产生强烈的热力差异,下垫面的非均一性更加凸显和强烈,从而形成局地热力环流,使空气的上升运动增强,促进了大气水分的循环.湿地生态系统的热力和动力效应在半干旱区更易诱发中小尺度对流,有利于降水的产生,从而保持了局地的湿度和降水量.

湿地自身的特殊结构和功能,导致湿地具有增加湿度、降低温度的冷湿气候效应,这一结论已得到较为广泛的共识.本文的研究结论证实了湿地具有调节局地气候的环境功能,表明了湿地对于调节局部气温和降水量具有一定的作用,但仍有很多问题还需进一步的分析研究,例如,湿地变化对近地面层湿度的影响、太阳辐射和大气环流等因素对局地气候的影响及贡献度等,这些问题将成为我们今后的研究重点.

5 结论

(I) 1985~2010年,研究区湿地总面积显著增加,其中水田面积大幅度增加,增加方式有旱田改水田和荒地改水田两种方式,而沼泽、河流湖泊等自然湿地面积明显减少,主要向耕地、草地和盐碱地转移.从空间分布上看,研究区的中东部、北部和西部湿地面积呈增加的趋势,而西南部和南部呈减少的趋势.

(II) 与林地和草地变化对气候变化的贡献相比,研究区湿地变化在调节局地气候中发挥着更主要的作用.湿地面积变化对局地气候产生的影响,主要体现为最高气温和降水量的变化,最高气温倾向率与湿地变化率之间呈负相关关系,降水量倾向率与湿地变化率之间呈正相关关系.湿地面积的增加发挥了降低温度的冷湿气候效应,对于调节局地气候具有一定的作用.

(Ⅲ) 研究区最高气温倾向率和降水量倾向率与湿地空间格局呈现较好的空间对应关系. 研究区内湿地面积增加明显的中东部, 最高气温上升幅度较小, 降水量下降幅度较小, 而湿地面积丧失较多的西南部, 最高气温上升幅度较大, 降水量下降幅度较大, 气候暖干化趋势明显.

参考文献(References)

- [1] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.
- [2] Mitsch W J, Bernal B, Nahlik A M. Wetlands, carbon, and climate change[J]. Landscape Ecology, 2013, 28(4):583-597.
- [3] Gerhard K. Impact of lakes and wetlands on boreal climate[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108:137-141.
- [4] Gong Xiuli, Wang Yiyong, Nie Xiao, et al. Differences in air temperature and relative humidity between a marsh wetland and its surrounding dry farmland [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2011, 39(11):93-96,101.
拱秀丽,王毅勇,聂晓,等. 沼泽湿地与周边旱田气温、相对湿度差异分析[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(11):93-96,101.
- [5] Nie Xiao, Wang Yiyong. "Cold-humidity island" effect of marsh wetlands on localized micro-climate [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010, 26(2):189-192.
聂晓,王毅勇. 沼泽湿地局地小气候“冷湿岛”效应[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(2):189-192.
- [6] Yao Yunlong, Yu Hongxian, Lu Xianguo, et al. The impacts of wetland cultivation on the regional temperature based on remote sensing: A case study Naoli watershed of Sanjiang Plain, Northeast China [C]//Proceedings of 2010 the 3rd International Conference on Computational Intelligence and Industrial Application, 2010: 177-180.
姚允龙,于洪贤,吕宪国,等. 基于遥感技术的湿地垦殖对局地气温的影响研究:以三江平原挠力河流域为例 [C]//第三届计算智能和产业应用国际会议论文集, 2010:177-180.
- [7] Gordon B B. Sensitivity of a GCM simulation to inclusion of inland water surface [J]. Journal of Climate, 1995(8):2 691-2 704.
- [8] Hostetler S W, Bates G T, Giorgi F. Interactive coupling of a lake thermal model with a regional climate model [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1993, 98:5 045-5 057.
- [9] Yan Minhua, Chen B Panqin, Deng Wei, et al. Further understanding of the Sanjiang Plain warming: changes in maximum and minimum air temperature[J]. Ecology and Environment, 2005, 14(2):151-156.
闫敏华,陈泮勤,邓伟,等. 三江平原气候变暖的进一步认识:最高和最低气温的变化[J]. 生态环境, 2005, 14(2):151-156.
- [10] Zhang Shuqing, Zhang Bai, Wang Aihua. A study on the relationship between distributive variation of wetlands and regional climate change in Sanjiang Plain [J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(6): 836-841.
张树清,张柏,汪爱华. 三江平原湿地消长与区域气候变化关系研究[J]. 地球科学进展, 2001, 16(6): 836-841.
- [11] Bao Rina, Yang Zelong, Liu Qi, et al. Analysis of micro-climate characteristics in Dalinor Wetlands[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2006, 27(3): 171-174.
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.
- [12] Guo Anhong, Wang Lanning, Li Fengxia. A Numerical experiment study of the effects of wetlands shrinkage on regional climate in the "Three-River Headwater" Region [J]. Climatic and Environmental Research, 2010, 15(6):743-755.
郭安红,王兰宁,李凤霞. 三江源区湿地变化对区域气候影响的数值模拟分析[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(6):743-755.
- [13] 吉林省人民政府. 吉林省人民政府关于吉林省增产百亿斤商品粮能力建设总体规划的实施意见[EB/OL]. [2008-08-25]. <http://www.jl.gov.cn/xgxg/zc/zffw/szfwj/jzf/201411/t20141118-1791865.html>.
- [14] 美国地质调查局(USGS). USGS Global Visualization Viewer [DB/OL]. [2015-08-04]. <http://glovis.usgs.gov>.
- [15] 中国气象科学研究院大气科学信息部. 中国气象科学数据共享服务网[EB/OL]. [2015-07-20]. http://www.cams.cma.gov.cn/cams_kxsy/qky_kxsy_index.htm.
- [16] Wang Zhiqiang, Zhang Bai, Yu Lei, et al. Study on LUCC and the ecological security response of wetlands in western Jilin Province [J]. Arid Zone Research, 2006, 2(3):419-426.
王志强,张柏,于磊,等. 吉林西部土地利用/覆被变化与湿地生态安全响应[J]. 干旱区研究, 2006, 2(3): 419-426.
- [17] Li Zongsheng, He Yuanqing, Xin Huijuan, et al. Spatio-temporal variations of temperature and precipitation in Mts. Hengduan Region during 1960~2008 [J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(5):

- 563-579.
李宗省,何元庆,辛惠娟,等.我国横断山区 1960~2008 年气温和降水时空变化特征[J].地理学报,2010,65(5):563-579.
- [18] Zhang Hao, Kong Dongsheng. Evaluation on the value of climate regulation function in the Heihe Wetland National Nature Reserve in Zhangye[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(3):177-181. 张灏,孔东升.张掖黑河湿地国家级自然保护区气候调节功能价值评估[J].西北林学院学报,2013,28(3):177-181.
- [19] Jia Zhijun, Zhang Wen, Huang Yao, et al. Effects of marshland reclamation on evapotranspiration in the Sanjiang Plain [J]. Environmental Science, 2010, 31(4):833-842. 贾志军,张稳,黄耀,等.三江平原沼泽湿地垦殖对蒸散量的影响[J].环境科学,2010,31(4):833-842.
- [20] Garrett A J. A parameter study of interactions between convective clouds, the convective boundary layer, and a forested surface[J]. Monthly Weather Review, 1982, 110(8): 1 041-1 059.
- [21] Richard A A. Enhancement of convective precipitation by mesoscale variations in vegetative covering in semiarid region [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 1984, 23(4):541-554.
- [22] Luo Zhexian. Effects of forest arrangement distribution of local vertical velocity [J]. Geographical Research, 1992, 11(1):15-22. 罗哲贤.植被带布局对局地流场的作用[J].地理研究,1992,11(1):15-22.
- [23] Yan H, Richard A A. The effect variations in surface moisture on mesoscale circulations [J]. Monthly Weather Review, 1988, 116(1): 192 - 208.
- [24] Mahfouf J F, Richard E, Masert P. The influence of soil and vegetation on the development of mesoscale circulations [J]. American Meteorological Society, 1987, 26(11): 1 483-1 495.
- [25] Liao Xiaoyu, Liu Zhaoli, Wang Yiyong et al. Spatiotemporal variation in the microclimatic edge effect between wetland and farmland [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2013, 118(14): 7 640-7 650.

(上接第 632 页)

- [16] Schucany W R, Parr W C, Boyer J E. Correlation structure in Farlie-Gumbel-Morgenstern distribution [J]. Biometrika, 1978, 65: 650-653.
- [17] Huang J S, Kotz S. Correlation structure in iterated Farlie-Gumbel-Morgenstern distributions [J]. Biometrika, 1984, 71: 633-636.
- [18] Johnson N L, Kotz S. On some generalized Farlie-Gumbel-Morgenstern distributions: II regression, correlation and further generalizations [J]. Communications in Statistics: Theory and Methods, 1977, 6: 485-496.
- [19] Johnson N L, Kotz S. On some generalized Farlie-Gumbel-Morgenstern distributions[J]. Communications in Statistics: Theory and Methods, 1975, 4: 415-427.
- [20] Lai C D, Xie M. A new family of positive quadrant dependent bivariate distributions [J]. Statist Probab Lett, 2000, 46: 359-364.
- [21] Shubina M, Lee M L T. On maximum attainable correlation and other measures of dependence for the Sarmanov family of bivariate distributions [J]. Communications in Statistics: Theory and Methods, 2004, 33: 1 031-1 052.
- [22] Balakrishnan N, Lai C D. Continuous Bivariate Distributions [M]. 2nd ed. New York: Springer, 2009.
- [23] Lee M L T. Properties and applications of the Sarmanov family of bivariate distributions[J]. Commun Statist Theory Meth, 1996, 25:1 207-1 222.
- [24] Kotz S, Balakrishnan N, Johnson N L. Continuous Multivariate Distributions[M]. 2nd ed. New York: Wiley, 2000.
- [25] Breiman L. On some limit theorems similar to the arc-sin law [J]. Theory of Probability and Its Application, 1965,10: 323-331.
- [26] Chen Y, Yuen K C. Sums of pairwise quasi-asymptotically independent random variables with consistent variation[J]. Stochastic Models, 2009, 25: 76-89.
- [27] Yang Y, Wang Y. Tail behavior of the product of two dependent random variables with applications to risk theory[J]. Extremes, 2013, 16: 55-74.