

文章编号: 1108 - 2786 - (2016) 1 - 12 - 07

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000095

洮儿河中上游地区水分适宜性变化 及其影响因子

陈素景^{1 2} 李丽娟^{1*} 李九一¹ 顾 静¹

(1. 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室/中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 计算了洮儿河中上游地区 1961—2012 年的干燥度指数 I_a , 利用干燥度指数来评价洮儿河中上游地区的水分适宜性, 采用气候倾向率和 Mann - Kendall 趋势检验分析了平均气温、风速、日照时数、相对湿度、降水量和 I_a 的变化趋势, 通过计算 I_a 对各气象要素的敏感系数, 分析了 I_a 对各气象要素的敏感性, 并结合各气象要素多年变化特征, 定量分析了 I_a 变化的原因。结果表明: 除平均气温、降水量有递增趋势外, 其他的气象因子及 I_a 都呈现减小趋势; I_a 对降水量的变化最敏感, 其次是相对湿度、风速、平均气温、日照时数; 风速和平均气温是 I_a 变化的主导因子, 其他气象因子对 I_a 变化的贡献从大到小依次是: 降水量、相对湿度、日照时数; 在各气象因子中, 平均气温和相对湿度对 I_a 变化呈现出正贡献, 其他气象因子均呈现出负贡献。

关键词: 气候变化; 干燥度指数; 敏感系数

中图分类号: P467

文献标志码: A

当前, 全球气候变暖已成为毋庸置疑的事实。气候变暖必然会对水文与水资源产生十分重大的影响, 流域气候与水循环之间存在密切联系, 其干湿状况与能量条件和水分条件都有很大的关系, 受降水和最大可能蒸散共同的影响作用^[1]。而降水和潜在蒸发或可能蒸发则体现了地表水量平衡和能量平衡的变化, 是地表水分和热能变化的关键参量^[2]——干燥指数即是以这两个量为基础衍生而来的指标模型。

在已有的研究成果中, 多数学者利用干燥指数或湿润指数来分析区域的干湿状况^[3], 如申双和等分析了我国 1975—2004 年湿润指数的时空变化特征^[4], 王菱等以湿润指数为基础, 分析了我国北方地区 40 年来气候干湿带界线的变化^[5], 孙力等利用

干燥度指数分析了我国东北地区地表的干湿状况^[6], 郑红星等分析了我国东北地区近 40 a 干燥指数的变化趋势^[7], 吴绍洪等认为综合考虑水分收支平衡的干湿指数更能准确说明我国陆地表层实际的干湿状况^[8]。由此可见, 以干燥指数为基础, 从水热平衡的角度探讨流域生态平衡的水分适宜性, 是干燥指数应用价值的重要方面。

从区域水分适宜性研究方面的成果来看, 当前已有的主要是围绕植被状况开展的定向研究, 如黄新会等探讨了我国西南地区植被的水分适宜性^[9], 姚小英等分析了陇东南旱作区特色林果和黄土高原旱作玉米的水分适宜性^[10-11], 杨小利构建了苹果生长的水分适宜度评估模型, 评估了陇东地区苹果的水分适宜性^[12], 从水热平衡的角度分析区域水分适

收稿日期(Received date): 2015 - 06 - 16; 改回日期(Accepted): 2015 - 08 - 24。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41201568); 中国博士后科学基金(2013M540134)。[Supported by the National Natural Science Foundation of China(41201568) and National Postdoctoral Foundation of China(2013M540134) .]

作者简介(Biography): 陈素景(1981 -), 女, 博士研究生, 从事水文水资源方面的研究。[Chen Sujing(1981 -), female, Ph D, mainly engaged in hydrology and water resource.] E - mail: chensj. 14b@ igsnr. ac. cn

* 通信作者(Corresponding author): 李丽娟(1961 -), 女, 研究员, 研究方向为水文水资源。[Li Lijuan(1961 -), female, researcher, mainly engaged in hydrology and water resource.] E - mail: lilj@ igsnr. ac. cn

宜性的研究相对偏少。

随着全球气候进一步变暖,我国东北地区近50年来气候呈现典型的暖干化趋势^[13-14],并且已有学者预测这种趋势将会越来越严峻^[15]。洮儿河中上游地区是我国东北典型的生态敏感区^[16],存在一系列的生态环境问题。在气候变化的背景下,从水热平衡的角度分析其水分适宜性,有利于对生态环境的保护和产业布局、结构的调整,而且也有很好的代表性。

1 研究区概况与数据介绍

1.1 研究区概况

洮儿河是嫩江右岸最大的支流,发源于大兴安岭东麓,全长563 km,流经内蒙古自治区兴安盟的科尔沁右翼前旗、突泉县,吉林省白城市的洮北区、洮南市、镇赉县和大安市,汇入月亮湖,最终流入嫩江。本文以洮儿河中上游地区为研究区,洮南站为汇流出口。研究区属于半干旱半湿润大陆性季风气候,多年平均降水量429 mm(1961—2012年),降水年际变化幅度大,年内分配不均,6—9月为汛期,降水量占全年降水量的83%左右,且多暴雨。

1.2 数据介绍

本文的气象数据包括研究区内及周边8个气象站点和7个雨量站,主要包括逐月平均气温、最高气温、最低气温、相对湿度、风速、日照时数、降水,数据来源于国家气象局和黑龙江水文总站出版的《黑龙江流域水文资料》,对缺测的数据用线性插值法替换。利用这些数据和FAO推荐的修正Penman-Monteith模型计算各站点的潜在蒸散发(ET_0)^[17],流域的面降水和潜在蒸散发均采用算术平均法进一步计算得到。水文数据主要选择整个中上游地区控制站洮南站的逐日流量数据,时间长度为1960—2012年,其中2002—2004和2007年的流量数据根据降水资料及线性插值法得到。研究区及气象站点、雨量站点和水文站点分布见图1所示。

2 研究方法

2.1 干燥度指数(I_a)

流域的干燥度指数可由下式计算得到^[8]:

$$I_a = \frac{TE_0}{p} \quad (1)$$

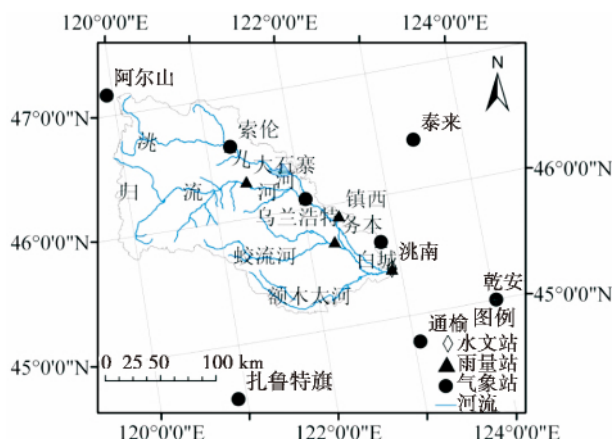


图1 洮儿河中上游范围及位置示意图

Fig.1 Range and location of the upper and middle reaches in Taoer River

式中 ET_0 为参考作物蒸散量; p 为降雨量。与干燥度指数相对应的水分适宜性状况为: $I_a \leq 0.99$ 时为湿润类型,水分适宜; $1.00 \sim 1.49$ 时,为半湿润类型,水分较适宜; $1.50 \sim 3.99$ 时为半干旱类型,水分较不适宜; ≥ 4.00 时,为干旱类型,水分不适宜。

2.2 干燥度指数的气象因子敏感系数

干燥度指数(I_a)受降水、气温、风速、日照时数、相对湿度等气象要素的影响,为了定量分析各个气象要素对 I_a 的影响,本文采用 I_a 的气象因子敏感系数,即 I_a 变化率与气象因子变化率之比^[18-21]:

$$s_{v_i} = \lim_{\Delta v_i \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta I_a / I_a}{\Delta v_i / v_i} \right) = \frac{\partial I_a}{\partial v_i} \cdot \frac{v_i}{I_a} \quad (2)$$

式中 s_{v_i} 是干燥度指数(I_a)关于气象因子 v_i 的敏感系数,无量纲,其值正负表示随气象因子的增加 I_a 会增大/减小,其绝对值越大,表示 I_a 的变化对气象因子的变化越敏感。

2.3 气象因子对干燥度指数的贡献

为了确定各气象要素对 I_a 变化的影响,必须将敏感性分析和气象要素的实际变化情况结合起来,公式如下^[22-23]:

$$Con_{v_i} = s_{v_i} \cdot RC_{v_i} \quad (3)$$

$$RC_{v_i} = \frac{52 \cdot Trend}{|av|} \times 100\% \quad (4)$$

式中 Con_{v_i} 是气象因子 v_i 对干燥度指数变化的贡献; s_{v_i} 是 v_i 的敏感系数; RC_{v_i} 是 v_i 的多年相对变化; av 是52 a v_i 的平均值; $Trend$ 是 v_i 的逐年变化率,由趋势分析法计算得到。将各因子的贡献累加后得到对 I_a 变化总的贡献。

本文对气象因子变化趋势的分析方法主要采用

气候倾向率的方法^[24],并对气象因子的变化趋势进行 Mann-Kendall 趋势检验^[25]。

3 结果与分析

3.1 各气象要素及干燥度指数年际变化特征

洮儿河是嫩江支流,属于外流区河流,利用公式(1),计算了洮儿河中上游地区 1961—2012 年间的干燥度指数 I_a 。各气象因子和 I_a 的年际变化特征见图 2。由图 2 可以看出,1961—2012 年间洮儿河中上游地区除平均气温、降水量有递增趋势外,其他

的气象因子:相对湿度、平均风速和日照时数都呈现减小趋势。

年平均气温以 $0.32^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ 的速率递增(图 2a),且通过了 $\alpha=0.01$ 的 Mann-Kendall 显著性检验,表明洮儿河中上游地区存在明显的变暖趋势,这和全球气候变暖的大趋势是一致的;降水量也呈增加趋势(图 2b),但趋势不明显,没有通过 $\alpha=0.05$ 的 Mann-Kendall 显著性检验,其气候倾向率为 $4.39\text{ mm}/(10\text{ a})$,研究时段最大降水量出现在 1998 年,降水量达到 767.4 mm ,最小降水量出现在 2001 年,只有 239.5 mm ,降水量的年际波动比较大;由图

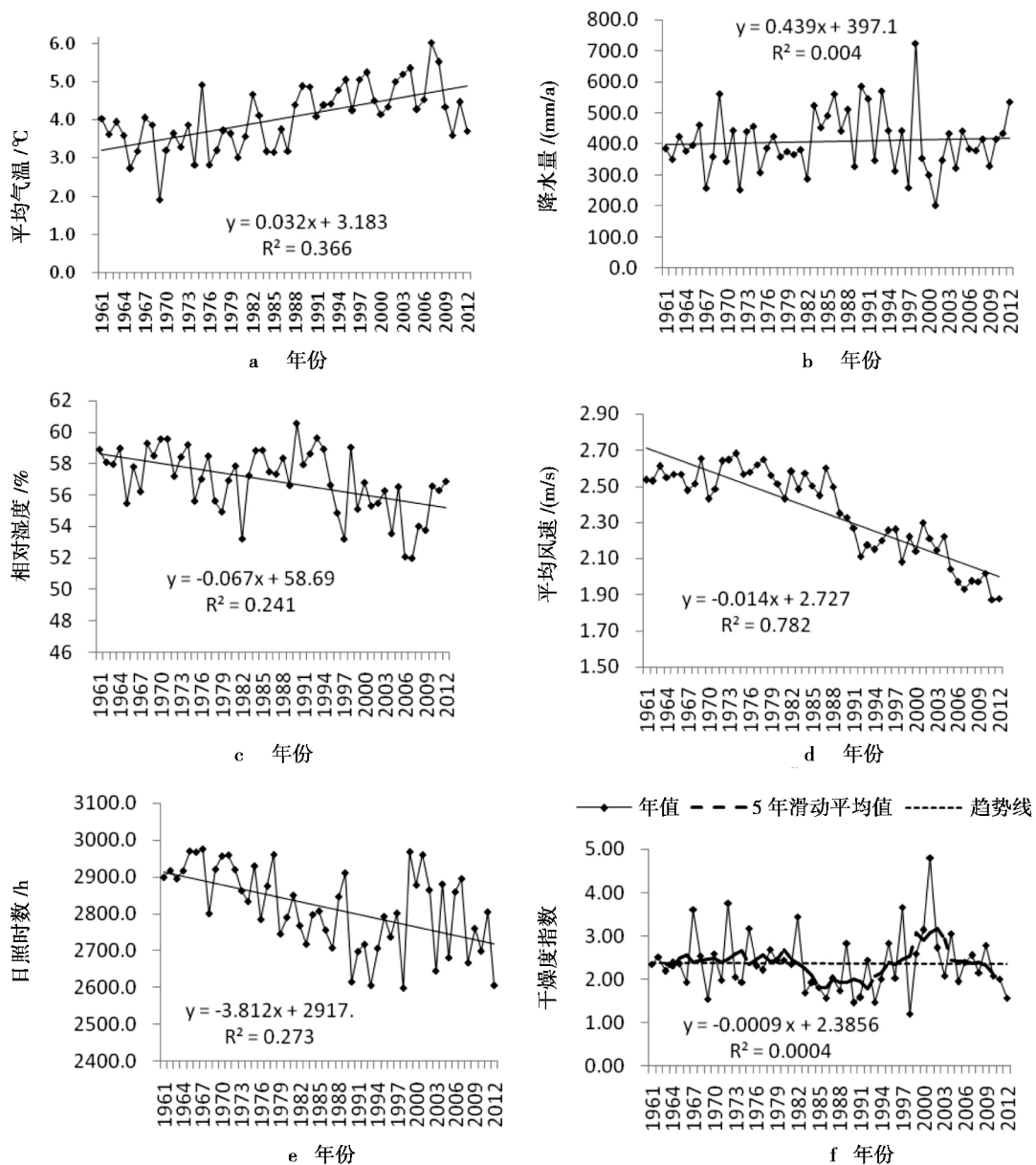


图 2 1961—2012 年洮儿河中上游地区气象因子及 I_a 变化特征

Fig. 2 Variation characteristics of climate variables and in the Taoer River's upper and I_a middle reaches during 1961—2012

2c 可以看出,相对湿度也呈下降趋势,下降速率为 $0.67 / (\% \cdot 10 \text{ a})$,通过了 $\alpha = 0.01$ 的 Mann - Kendall 显著性检验;高 2 m 处平均风速近 52 年来呈下降趋势,气候倾向率为 $0.14 \text{ m} / (\text{s} \cdot 10 \text{ a})$,通过了 $\alpha = 0.01$ 的 Mann - Kendall 显著性检验(图 2d),平均风速在 1987 年以来,下降趋势明显,这可能跟洮儿河中上游地区林地面积在近 15 年来持续增加有关;由图 2e 可知,年平均日照时数呈下降趋势,下降速率为 $38.12 \text{ h} / (10 \text{ a})$,也通过了 $\alpha = 0.01$ 的 Mann - Kendall 显著性检验。

洮儿河中上游地区 1961—2012 年,干燥度指数 I_a 呈减小趋势(图 2f),但趋势不明显,气候倾向率为 $0.009 / (10 \text{ a})$,没有通过 $\alpha = 0.05$ 的 Mann - Kendall 显著性检验。多年平均干燥度指数为 2.40,为典型的半干旱类型区,水分较不适宜。 I_a 最大值出现在 2001 年,为 4.81,最小值出现在 1998 年,为 1.20,年际极值比为 4.01,年际波动比较大。从 5 a 滑动平均值来看,1961—2012 年干燥度指数 I_a 大致可以分为三个阶段,1961—1982 年为第一阶段,在这一阶段中除个别年份外,干燥度指数基本都大于平均值;1983—1998 年为第二阶段,在这一阶段,干燥度指数基本都小于平均值,因为自 1980 年代中期至 1990 年代末期,洮儿河中上游地区降水量增多的缘故,虽然这一阶段干燥度指数变小,但仍然处于 1.50 ~ 3.99 的范围,流域水分情况还是较不适宜;1999—2012 年干燥度指数又普遍比均值偏大,因为 1999 年以后降水量减小。1961—2012 年,洮儿河中上游地区干燥度指数具体的变化趋势是 1961—1986 年干燥度指数波动中下降,1987—2001 年,干燥度指数呈现上升趋势,1988—2012 年,又呈现下降趋势。

3.2 干燥度指数 I_a 对各气象因子的敏感系数 s_{vi}

洮儿河中上游地区干燥度指数 I_a 对各气象因子的敏感系数见表 1。由表 1 可知 I_a 对平均气温、风速、日照时数的变化呈现正敏感,说明随着平均气温、风速、日照时数的增加 I_a 会随着增加 I_a 对降水

量、相对湿度的变化呈现负敏感,说明随着降水量和相对湿度的增加 I_a 会减小。从敏感系数的大小来看 I_a 对降水量的变化最敏感,其次是相对湿度、风速、平均气温,对日照时数变化的敏感性最低。

1961—2012 年干燥度指数 I_a 对各气象因子的敏感系数的年际变化见图 3。如图 3 所示,5 个气象因子中降水量敏感系数的年际波动最大,降水量敏感系数绝对值出现的最大年是 1998 年,敏感系数为 -3.60,最小年是 2001 年,敏感系数为 -0.25,说明 I_a 对降水量敏感性最不稳定,降水量的敏感系数呈下降趋势,下降速率为 $-0.03 / (10 \text{ a})$,但下降趋势不明显,没有通过 $\alpha = 0.05$ 的 Mann - Kendall 显著性检验; I_a 对平均气温、风速、日照时数、相对湿度这四个气象因子的敏感系数年际变化很小。

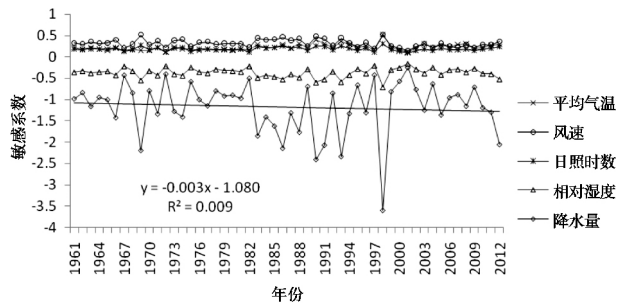


图 3 1961—2012 年洮儿河中上游地区各气候变量敏感系数
Fig. 3 Sensitivity coefficients for each climate variable in the Taoer River's upper and middle reaches during 1961—2012

3.3 各气象因子对干燥度指数 I_a 变化的贡献

洮儿河中上游地区各气象因子对干燥度指数 I_a 变化的贡献见表 1。贡献的大小依次是风速、平均气温、降水量、相对湿度、日照时数。多年相对变化最大的就是平均气温,变化率高达 41.02%,平均气温对 I_a 变化的贡献率只有 9.11%;风速的多年相对变化率也比较大,为 -30.90%,仅次于平均气温的多年相对变化率,风速对 I_a 变化的贡献率最大,高达 -9.82%;日照时数 -7.04% 的相对变化,对 I_a 变化的贡献率为 -1.26%;相对湿度 -6.12% 的相

表 1 气象因子的敏感系数、多年相对变化及对 I_a 变化的贡献

Tab. 1 Sensitivity coefficients for climate variables, relative changes and contribution of each climate variable to I_a

气象因子	平均气温	风速	日照时数	相对湿度	降水量	c_r
敏感系数	0.22	0.32	0.18	-0.38	-1.18	-
多年相对变化/%	41.02	-30.90	-7.04	-6.12	5.58	1.98
贡献/%	9.11	-9.82	-1.26	2.31	-6.62	-6.28(总)

对变化率,对 I_a 变化的贡献率为 2.31%; I_a 对降水量的变化最敏感,虽然降水量自身的变化趋势不明显,气候倾向率为 4.39 mm/(10 a),但 5.58% 的多年相对变化,带来了 I_a -6.62% 的变化。综合各气象因子对 I_a 变化的贡献后, I_a 表现出 -6.28% 的变化,与实际变化相差 8.26%,平均气温、相对湿度这两个气象因子引起 I_a 的变化在趋势上和 I_a 的实际变化基本一致,风速和平均气温是 I_a 变化的主导因子。

各气象因子对干燥度指数 I_a 变化贡献的年际变化见图 4。其中平均气温对 I_a 变化的贡献呈现逐年上升的趋势,上升速率为 0.87/(%·10 a),且通过了 $\alpha=0.05$ 的 Mann-Kendall 显著性检验;风速对 I_a 变化的贡献也呈逐年上升的趋势,上升速率为 0.44/(%·10 a),没有通过 $\alpha=0.05$ 的 Mann-Kendall 显著性检验;降水量对 I_a 变化的贡献呈现逐年下降的趋势,下降速率为 0.22/(%·10 a),下降趋势不明显,没有通过 $\alpha=0.05$ 的 Mann-Kendall 显著性检验;日照时数和相对湿度的贡献表现平稳,年际波动不大。

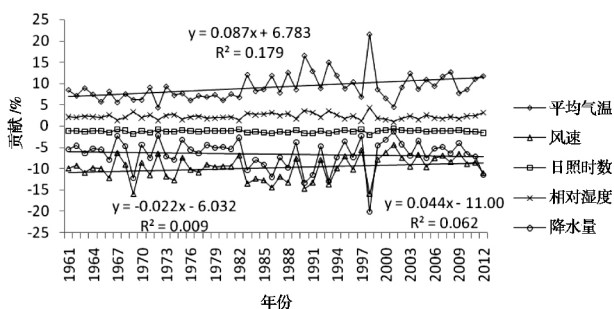


图4 1961—2012年洮儿河中上游地区各气象因子对 I_a 变化的贡献
Fig. 4 Contribution of climate variables to the change of in the Taoer River's upper and middle reaches

4 结论

本文利用干燥度指数 I_a 分析了洮儿河中上游地区 1961—2012 年的水分适宜性,采用气候倾向率和 Mann-Kendall 趋势检验分析了平均气温、风速、日照时数、相对湿度、降水量和 I_a 的变化趋势,并分析了 I_a 对各气象要素的敏感性,结合各气象要素多年变化特征,讨论了各气象要素对 I_a 变化的影响。结论如下:

1) 1961—2012 年洮儿河中上游地区干燥度指数 I_a 呈减小趋势,但趋势不明显,以波动为主,多年

平均干燥度指数为 2.40,水分较不适宜;各气象因子中除平均气温、降水量有递增趋势外,其他的气象因子:相对湿度、平均风速和日照时数都呈现减小趋势。

2) I_a 对降水量的变化最敏感,其次是相对湿度、风速、平均气温和日照时数, I_a 对降水量和相对湿度呈现负敏感,对其他气象要素:平均气温、风速和日照时数呈现正敏感。

3) 52 年以来,风速对干燥度指数 I_a 变化的贡献最大,为 -9.82%,平均气温对干燥度指数 I_a 变化的贡献也比较大,为 9.11%,这两个因子成为影响的主导气象因子,日照时数和相对湿度对 I_a 变化的贡献比较小。

参考文献(References)

- [1] 尹云鹤, 吴绍洪, 郑度, 等. 近 30 年我国干湿状况变化的区域差异[J]. 科学通报, 2005, 50(15): 1636-1642 [Yin Yunhe, Wu Shaohong, Zheng Du, et al. Regional differences of dry and wet condition of China during the last 30 years[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(15): 1636-1642]
- [2] 赵俊芳, 郭建平, 徐精文, 等. 基于湿润指数的中国干湿状况变化趋势[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 18-24 [Zhao Junfang, Guo Jianping, Xu Jingwen, et al. Trends of Chinese dry-wet condition based on wetness index[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 18-24]
- [3] 申双和, 张方敏, 盛琼. 1975-2004 年中国湿润指数时空变化特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 11-15 [Shen Shuanghe, Zhang Fangmin, Sheng Qiang, et al. Climatic bounda wetness index in China from 1975 to 2004 [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1): 11-15]
- [5] 王菱, 谢贤群, 李运生, 等. 中国北方地区 40 年来湿润指数和气候干湿带界线的变化[J]. 地理研究, 2004, 23(1): 45-54 [Wang Ling, Xie Xianqun, Li Yunsheng, et al. Changes of humid index and border line of wet and dry climate zone in northern China over the past 40 years [J]. Geographical Research, 2004, 23(1): 45-54]
- [6] 孙力, 沈柏竹, 安刚. 中国东北地区地表干湿状况的变化及趋势分析[J]. 应用气象学报, 2003, 14(5): 542-552 [Sun Li, Shen Baizhu, An Gang. A study of the variation and tendency of surface dry - and - wetstate of north eastarea in China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2003, 14(5): 542-552]
- [7] 郑红星, 刘静. 东北地区近 40 年干燥指数变化趋势及其气候敏感性[J]. 地理研究, 2011, 30(10): 1765-1774 [Zheng Hongxing, Liu Jing. Longe-term trends of aridity index and its sensitivity to climate factor in Northeast China: 1971-2008 [J]. Geographical Research, 2011, 30(10): 1765-1774]
- [8] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 近 30 年中国陆地表层干湿状况研究[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2005, 35(3): 276-283 [Wu Shaohong, Yin Yunhe, Zheng Du, et al. Study on the dry - and -

- wet condition of the land surface in China during the last 30 years [J]. *Science in China Ser. D* 2005, 35(3): 276–283]
- [9] 黄新会, 李小英, 穆兴民, 等. 区域植被水分适宜性研究: 基于中国西南季节性旱灾的评述[J]. *水土保持通报*, 2014, 34(4): 301–307 [Huang Xinhui, Li Xiaoying, Mu Xinmin, et al. Research on water suitability of regional vegetation: perspectives from seasonal drought disaster occurred frequently in southwest China [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34(4): 301–307]
- [10] 姚小英, 张强, 王劲松, 等. 近 30a 陇东南旱作区特色林果水分适宜性变化特征[J]. *干旱区研究*, 2015, 32(2): 229–234 [Yao Xiaoying, Zhang Qiang, Wang Jinsong, et al. Variation of water suitability for special fruit trees in the dryland area of south-east Gansu in recent 30 Years[J]. *Arid Zone Research*, 2015, 32(2): 229–234]
- [11] 姚小英, 蒲金勇, 姚茹莘, 等. 甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估[J]. *生态学报*, 2010, 30(22): 6242–6248 [Yao Xiaoying, Pu Jinyong, Yao Ruxin, et al. Assessment of maize water adequacy in Loess Plateau of Gansu province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(22): 6242–6248]
- [12] 杨小利, 蒲金勇, 马鹏里, 等. 陇东地区苹果生产水分适宜性评估[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2009, 37(9): 71–76 [Yang Xiaoli, Pu Jinyong, Ma Pengli, et al. Assessment of apple water suitability in eastern Gansu province[J]. *Journal of Northwest A & F University(Nat. Sci. Ed.)*, 2009, 37(9): 71–76]
- [13] 孙永罡, 白人海, 谢安. 中国东北地区干旱趋势的年代际变化[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(5): 806–813 [Sun Yonggang, Bai Renhai, Xie An. Interdecadal Variations of droughts in Northeastern China[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2004, 40(5): 806–813]
- [14] 廉毅, 高枳亭, 任红玲, 等. 20 世纪 90 年代中国东北地区荒漠化地发展与区域气候变化[J]. *气象学报*, 2001, 59(6): 730–736 [Lian Yi, Gao Zongting, Ren Hongling, et al. Desertification development and regional climatic change in Northeast China in the 1990s[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2001, 59(6): 730–736]
- [15] 谢安, 孙永罡, 白人海. 中国东北近 50 年干旱发展及对全球气候变暖的响应[J]. *地理学报*, 2003, 58(S1): 75–82 [Xie An, Sun Yonggang, Bai Renhai. Arid climate trend over Northeastern China and its response to global warming[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(S1): 75–82]
- [16] 李斌, 李丽娟, 覃驭楚, 等. 基于 Budyko 假设评估洮儿河流域中上游气候变化的径流影响[J]. *资源科学*, 2011, 33(1): 70–76 [Li Bin, Li Lijuan, Qin Yuchu, et al. Impacts of climate variability on streamflow in the upper and middle reaches of the Taoer River based on the Budyko Hypothesis[J]. *Resources Science*, 2011, 33(1): 70–76]
- [17] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56 [M]. FAO, 1998.
- [18] Mccuen R H. A sensitivity and error analysis of procedures used for estimating evaporation [J]. *Water Resource Bulletin*, 1974, 10(3): 486–498
- [19] 刘昌明, 张丹. 中国地表潜在蒸散发敏感性的时空变化特征分析[J]. *地理学报*, 2011, 66(5): 579–588 [Liu Changming, Zhang Dan. Temporal and spatial change analysis of the sensitivity of potential evapotranspiration to meteorological influencing factors in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(5): 579–588]
- [20] Liang Liqiao, Li Lijuan, Zhang Li, et al. Sensitivity of penman-monteith reference crop evapotranspiration in taoer river basin of northeastern China [J]. *Chinese Geographical Science*, 2008, 18(4): 340–347
- [21] 王炳亮, 李国胜. 1961—2010 年辽河三角洲参考蒸散发变化特征及主导因子分析[J]. *地理科学*, 2014, 34(10): 1233–1238 [Wang Bingliang, Li Guosheng. Quantification of the reasons for reference evapotranspiration changes over the Liaohu Delta, Northeast China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(10): 1233–1238]
- [22] Yin Yunhe, Wu Shaohong, Chen Gang. Attribution analyses of potential evapotranspiration changes in China since the 1960s [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 2010, 101: 19–28
- [23] 曹雯, 申双和, 段春锋. 西北地区生长季参考作物蒸散发变化成因的定量分析[J]. *地理学报*, 2011, 66(3): 407–415 [Cao Wen, Shen Shuanghe, Duan Chunfeng. Quantification of the causes for reference crop evapotranspiration changes in growing season in Northwest China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(3): 407–415]
- [24] 施能, 陈家其. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. *气象学报*, 1995, 53(4): 431–439 [Shi Neng, Chen Jiaqi. 4-phase climate change features in the last 100 years over China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1995, 53(4): 431–439]
- [25] 孙鹏, 张强, 陈晓宏, 等. 鄱阳湖流域水沙时空演变特征及其机理[J]. *地理学报*, 2010, 65(7): 828–840 [Sun Peng, Zhang Qiang, Chen Xiaohong, et al. Spatio-temporal patterns of sediment and runoff changes in the Poyang Lake basin and underlying causes [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(7): 828–840]

Changes of Water Suitability and Its Influencing Factors in the Upper and Middle Reaches of Taoer River Area

CHEN Sujing^{1 2}, LI Lijuan¹, LI Jiuyi¹, GU Jing¹

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Process/Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: Under the background of global warming, it is important to analyze the regional water suitability. Aridity index of the upper and middle reaches in Taoer River where is located in northeast China's Inner Mongolia and Jilin was calculated during the period 1961—2012. The trends of mean temperature, wind speed, sunshine hours, relative humidity, precipitation and were analyzed using the climatic trend rate and Mann-Kendall trend analysis. The sensitivity of to meteorological factors was analyzed by calculating the sensitivity coefficients of to them and the change of was studied by analyzing the relative changes of them. The results showed that mean temperature and precipitation had increasing trends, while wind speed, sunshine hours, and relative humidity had decreasing trends. The most sensitive variable was precipitation, followed by relative humidity, wind speed, mean temperature, and sunshine hours. Moreover, the contributions to the change of in descending order were: wind speed, mean temperature, precipitation, relative humidity, sunshine hours. The contributions of mean temperature and relative humidity were positive, but others were negative.

Key words: climate change; aridity index; sensitivity coefficient