

华北平原地表湿润程度演变及其影响因素分析

周泽江¹, 李保琦², 赵子岳³, 董晓勇⁴, 顾金普⁵

(1. 广西壮族自治区水利电力勘测设计研究院有限责任公司, 广西 南宁 530023;

2. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043; 3. 河北省水利水电第二勘测设计研究院, 河北 石家庄 050021;

4. 青海省水利电力勘测设计研究院, 青海 西宁 810001; 5. 贵州新中水工程有限公司, 贵州 贵阳 550000)

摘要: 随着气候变化的加剧, 区域干湿状况表现出高频率和大振幅的变化。华北平原地区, 由于水资源本底差, 加之气候变化和高强度人类活动的影响, 其变化程度更甚。而湿润指数可以综合反映区域干湿状况, 是全面表征地表湿润程度的综合指标。为此, 本文采用湿润指数, 以华北平原82个气象站点1960—2017年逐日气象资料为基础, 分析了该区域地表湿润程度演变及其影响因素。结果表明, 华北平原地表湿润程度在空间上表现为由东南向西北逐渐变干, 在时间上呈现出变干趋势; 降水是湿润指数变化的主导因素, 其次为相对湿度; 风速和太阳辐射的影响相对较小。相关研究成果对华北平原合理应对气候变化具有一定的参考价值, 还可为强人类活动下的水资源本底较差区域地表湿润程度研究提供借鉴。

关键词: 湿润指数; 变化特征; 影响因素; 华北平原

中图分类号: P333

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.20200255

1 研究背景

由于全球气候变化不断深入和高强度人类活动的持续影响, 水循环过程中的蒸散发环节在一定程度上发生了改变, 因此区域干湿状况也随之出现变化。例如, IPCC第6次评估报告中指出, 自1880至2012年全球平均地表温度升高 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ^[1], 华北平原降水整体呈现显著减少趋势^[2], 气温升高加速了水循环过程, 降水减少则直接导致地表变干, 而地表湿度变化又受太阳辐射、地表反射等能量循环因素的影响。因此, 区域地表干湿程度演变及其影响因素的研究不仅可以正确认识地表干湿变化趋势及其原因, 而且对合理应对气候变化具有一定的参考价值。

华北平原是我国重要的粮食主产区, 但是其水资源本底较差, 比如其年降水量为500~900 mm, 但是在春季, 气温回升, 蒸发量增加, 降水量较少, 常会出现春旱问题; 与冬小麦生育期(10月份—翌年的6月份)需水分布错位, 导致该地区成为典型的补充灌溉区。另外, 区域内人口众多、经济较为发达, 对水资源的需求较大。加之高强度人类活动和气候变化的影响, 引发了生态、环境、地下水超采、区域最高气温骤增等一系列问题。因此, 华北平原地区干湿状况变化具有区别于其他区域的独特性和差异性。

湿润指数作为衡量区域水热收支情况的指标, 即区域来水量与消耗量特点, 可直接综合表征区域地表湿度, 进而可从侧面反映区域干湿状况。所以, 湿润指数的长系列分析可以反映出区域干湿状况在外界环境综合影响下的演变情况。因此, 近年来, 在气候变化和高强度人类活动的影响下, 有关湿润指数的研究受到了学者的广泛关注。例如, 在区域尺度上, 西北^[3]的天山西部地区^[4]、甘肃河东地区^[5]以及石羊河流域^[6]、黄土高原地区^[7], 黄河流域^[8], 青藏高原的三江源区^[9], 还有位于华东的长三角地区^[10]都有相关案例分析; 在行政区划尺度上, 从市级的安康^[11]到省级的陕西省^[12]和云南省^[13], 乃至全国^[14-16], 都从不同空间尺度和时间尺度针对不同的侧重点及问题进行了分析和探讨。

收稿日期: 2020-12-18; 网络首发时间: 2021-07-26

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5020.TV.20210723.1821.003.html>

基金项目: 河北省重点研发计划(20375409D, 19274207D)

作者简介: 周泽江(1989-), 工程师, 硕士, 主要从事水利信息化规划和设计等工作。E-mail: Jungle4631@qq.com

尽管湿润指数在不同地区及全国大区域尺度得到一些结论,但是不同区域及不同时间尺度的时空变化规律仍存在一定的差异。华北平原地区水资源本底差、人类活动强烈、供需水分布错位,导致该地区干湿状况呈现出高频率和大振幅的变化,变化程度较其它区域更甚。为此,亟需进行华北平原地表湿润程度演变及其影响因素分析,以便为水资源本底较差区域更好的应对气候变化提供借鉴。

基于以上分析,本文对华北平原地表湿润程度演变及其影响因素进行分析,首先采用地表湿润指数来探寻华北平原干湿程度的演变,然后通过 Mann-Kendall 趋势检验来获得干湿程度的年际变化规律,最后应用正交函数分解对干湿程度空间分布进行模态分析。

2 数据来源

以可靠性、一致性、代表性为标准,对气象站点资料进行审查筛选,在满足精度要求的前提下剔除数据缺测的气象站点,最终选取华北平原及其周边 82 个站点数据作为本文的研究数据,研究区位置及站点分布如图 1 所示。数据系列为 1960—2017 年日尺度实测数据,包含逐日降水量、日平均气温、日最高气温、日最低气温、空气相对湿度、日平均风速及日照时数等 7 个气象要素。本文涉及的气象数据均来源于中国气象数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn>)。

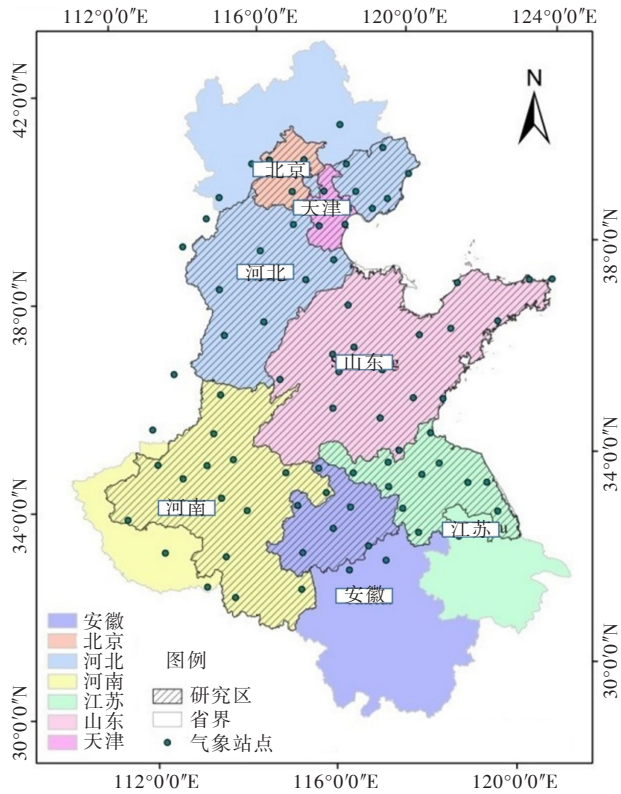


图 1 气象站点及研究区域分布图

3 研究方法

3.1 地表湿润指数 本文采用湿润指数来综合反映华北平原干湿状况,该指数可由地面降水量(P)与潜在蒸发量(ET_0)来计算: $k = P / ET_0$ 。式中 P 为气象站实测降水量; ET_0 采用 1998 年 FAO 推荐的 Penman-Monteith(PM)公式,其计算方法见文献[15]。

用湿润指数 k 表示干湿程度的标准,依据文献[4]的干湿进行分级,具体分级标准见表 1。

3.2 Mann-Kendall 趋势检验 Mann-Kendall(M-K)方法可定量分析时间序列趋势,适用于气象、水

表1 中国干湿程度分级

指数	气候地带	气候类型
$k < 0.5$	十分湿润区	十分湿润
$0.5 \leq k < 1.0$	湿润区	湿润
$1.0 \leq k < 3.0$	半湿润区	半湿润
$3.0 \leq k \leq 7.0$	半干旱区	半干旱
$k > 7.0$	干旱区	干旱

文等非正态分布的数据分析。为进一步分析华北平原地表湿润程度演变趋势，并对各影响因素进行置信度为0.01的显著性检验，本文采用Mann-Kendall趋势检验法^[13]进行计算。

3.3 正交函数分解 影响地表湿润程度的要素复杂繁多，本文采用正交函数分解法来分析华北平原地表湿润程度演变的主要影响因素。正交函数(EOF)分解在多元统计分析中又称主成分分析^[17]，它是利用较少的几种空间分布模态对原变量场进行描述，可基本涵盖原变量场的信息，通常以向量场的贡献率来表示。其优点在于EOF没有固定的函数，可以在有限区域对随机分布的站点分解，容易将变量场的信息集中于几个分布模态上，且分离出来的变量场具有物理意义。

4 结果分析

4.1 干湿程度空间分布 年均湿润指数为四季湿润指数空间分布的叠加，研究区各站点多年平均地表湿润指数介于0.5~1.3之间，空间差异显著，总体上表现为从河南省中部向山东省中部呈现出西南-东北走向的区域界线，表现出由东南向西北逐渐递减的态势(图2(a))。其中，低值区(0.5左右)主要位于西北部，高值区(1.3左右)位于南部和东南部。南北差异较为明显，湿润指数差异值约为0.8左右。一般来说，南部大部分区域湿润指数在1.0以上，而北部则为0.6左右。按照文献[4]的干湿程度分级，华北平原湿润指数在0.3~1.0之间，属于半湿润地区，即整体来看华北地区全部位于半湿润气候地带，属于半湿润气候区，且大时间尺度内不会过渡为湿润区和半干旱区。

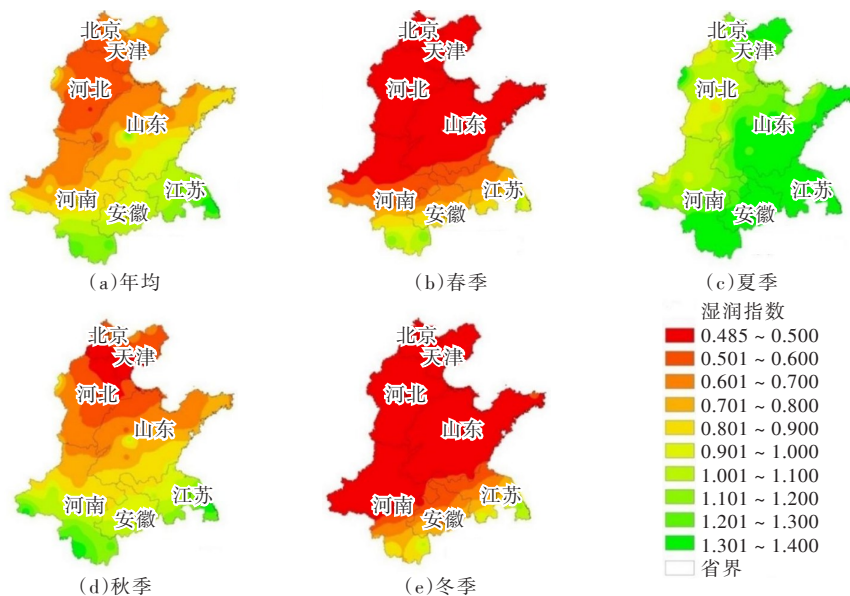


图2 湿润指数空间分布图

湿润指数的各季节空间分布整体与年均湿润指数基本相似，但并不完全一致，指数值的区间范围和空间分布均有差别。冬、春季节全区湿润指数大体以河南省中南部和山东省南部为分界线，其该分界线以北大部分地区湿润指数小于0.5，以南则为0.6~1.3左右，且呈向南增加的趋势。但与春

季相比，冬季南北湿润指数分界线相对靠南，位于山东省南部和河南省南部。夏季华北平原地区大部分区域湿润指数在0.9以上，尽管空间分布上仍呈现出东南地区相对西北地区较高的差别，但二者的差异较小，不超过0.2。秋季湿润指数的变化介于冬春季和夏季之间，区域间差异明显，整体上南部湿润指数大于北部，但以北京、天津和河北省大部分地区最小，不足0.5，河北南部、山东北部和河南北部为0.6~0.8，河南南部、山东南部及其以南地区大于0.8。

4.2 干湿程度年际变化规律 反距离权重(IDW)插值法是空间插值方法之一，具有能够综合反映插值点与样点之间距离对插值点贡献的特点，认为离插值点越近的样本点赋予的权重越大，其权重贡献与距离成反比。为此，本文采用此方法，在ArcGIS 10.2中对82个站点逐月湿润指数进行空间插值获得华北平原逐月平均湿润指数，以此为基础进行整个研究区湿润指数年际演变特征分析。

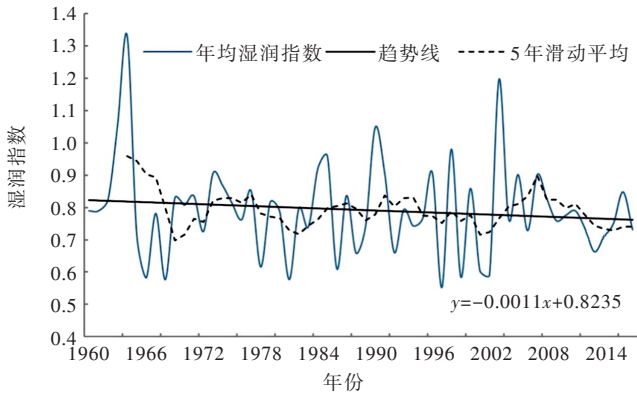


图3 1960—2017年华北平原年平均湿润指数变化

由图3可知，华北平原地区年均湿润指数变化在0.5~1.35之间波动，其多年平均值为0.79，最大值出现在1964年，最小值出现在1997年，最大值与最小值相差约为0.7。近58年湿润指数总体呈0.011/10a减少趋势。华北平原地区1960s、1970s、1990s和2000—2009年年尺度下湿润指数偏大，相对多年平均值分别偏大4.42%、0.92%、0.19%和2.58%；而1980s和2010—2017年则分别偏小3.82%和5.37%。

为了分析湿润指数年际变化的空间差异性，对华北平原82个站点58年湿润指数进行倾向率计算，并绘制空间变化倾向率分布图，如图4所示。

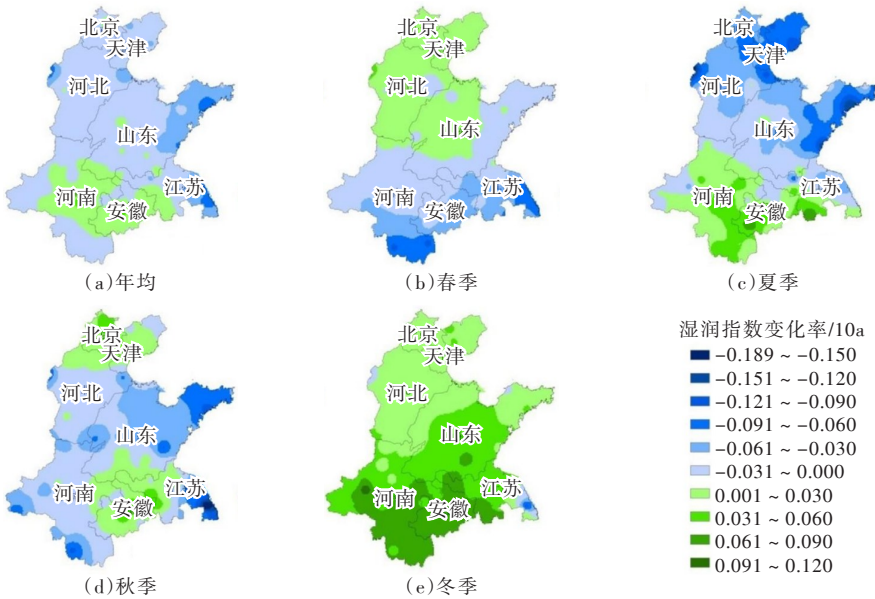


图4 湿润指数空间变化倾向率分布

1960—2017年华北平原地区年平均湿润指数大部分地区呈现出变小趋势，即气候变干趋势，变化率为0~0.03/10a，山东半岛和江苏东北部等局部地区湿润指数减小较多，约为-0.06/10a左右。在

河南省中东部、安徽省北部等地区湿润指数呈略微增加趋势，变化率约为0.03/10a。

就整个华北平原而言，春季、夏季和秋季湿润指数均呈减小趋势，减小速率分别为0.009/10a、0.015/10a和0.018/10a；冬季湿润指数呈现增大趋势，增加速率为0.041/10a。各季节多年平均湿润指数分别为0.43、1.23、0.78和0.37，年内四季湿润指数差异较大，夏季最大，为春、冬季的3倍左右。

不同季节的湿润指数，在局部地区的变化趋势与华北平原整体略有不同。其中，春季河北、天津、北京和山东中部西北部湿润指数呈增大趋势，约为0~0.03/10a左右；河南南部、江苏、安徽等区域呈现减小趋势，约为-0.06/10a左右。夏季东北部呈现减小趋势，西南呈现增大趋势。秋季在安徽北部、江苏西北部、河南东部和山东南部以及北京市周围等地湿润指数呈现增加趋势，变化率介于0~0.06/10a之间，其他地区呈减小趋势，其中，山东东部和江苏东北部减小程度较大，变化率约为-0.09/10a。冬季研究区域湿润指数整体呈现增加趋势，且增幅由北向南增大，河北地区湿润指数变化率较小，在0~0.03/10a之间，河北指南的河南、山东和安徽、江苏北部地区湿润指增加率较大，在0.06~0.09/10a之间。

4.3 影响因素分析 年均湿润指数K值的时空分布情况，包含时间和空间两个维度的变量。在时间上，若将n年序列存在n种空间分布情况，则时间变量有n种指标。然而，各时间变量指标与不同空间变量指标之间具有一定的相关性，导致K值所反映的信息在一定程度上有所重叠。经验正交函数(EOF)是将不同研究变量的多个研究指标进行重新组合，形成新的互相无关的若干个综合指标，来代替原来指标，即“降维思想”。

本文通过对华北平原82个站点58年的湿润指数进行逐年空间插值，得出1960—2017年58种空间分布形式，然后采用经验正交函数对华北地区湿润指数进行空间特征分析，按概率统计提取出5种空间分布形式，来代表原始58种空间分布形式，将复杂的空间态势简单化，以便清晰的揭示地表干湿程度空间分布的规律(见表2和图5)。

由表2可知，华北平原1960—2017年年均湿润指数K值的前8个特征向量累计贡献率为

表2 华北平原湿润指数K值前8个特征向量的贡献率和累积贡献率

特征向量	一	二	三	四	五	六	七	八
特征值	1.33	0.62	0.28	0.24	0.15	0.13	0.09	0.08
贡献率/%	34.33	16.08	7.25	6.24	3.94	3.29	2.42	2.13
累积贡献率/%	34.33	50.41	57.67	63.90	67.85	71.14	73.56	75.69

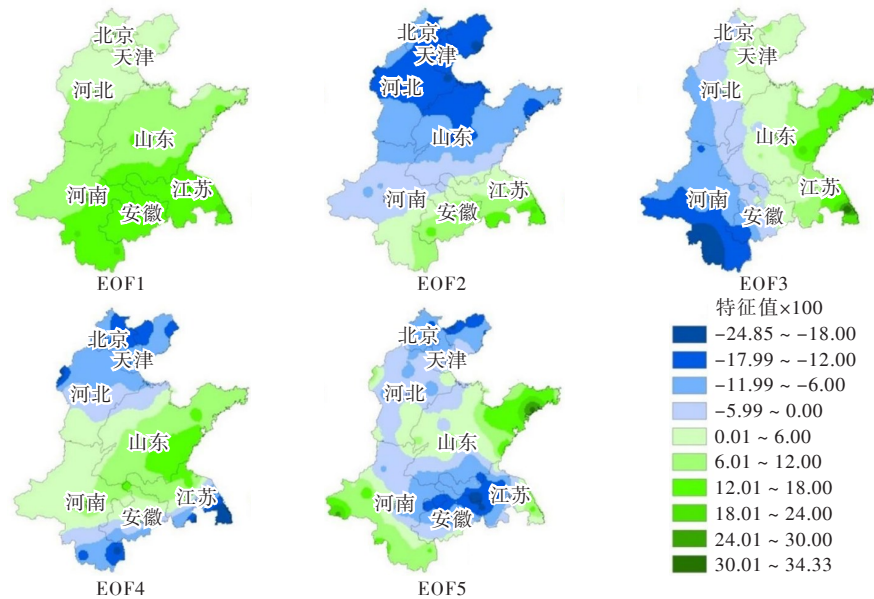


图5 华北平原年平均湿润指数 EOF 分析

75.69%，前5个特征向量累计贡献率趋近于70%，所以前5个特征向量可以较好的表示华北平原年平均湿润指数*K*值的空间变化特征。第一、二特征向量贡献率均大于10%，对空间分布代表性较高，因此，对前两个特征向量进行重点分析。

由图5可知，第一特征向量(EOF1)均为正值，贡献率为34.33%，取值范围在0~0.18之间(图中标注为特征向量值乘100)，说明华北平原湿润指数空间分布呈现出一致性，即全区均偏干或全区均偏湿润；但特征向量在数值上呈现的南部大于北部，说明南部偏干或偏湿的程度大于北部。第二特征向量(EOF2)取值范围在-0.24~0.30之间，贡献率为16.08%，在空间上呈现沿山东省和河南省中南部东北方向分界线，其北部为负值区和南部为正值区，反映华北平原北部和南部干湿状况呈相反形式，即北部偏干南部偏湿润或北部偏湿润南部偏干。

华北平原湿润指数在空间分布整体上北部小于南部，在年际变化上呈现整体偏干趋势，这与中国许多专家学者在不同空间尺度分析研究结果一致^[14-15, 18-22]。但是，湿润指数是一个受多种气象因素综合影响的指标，为揭示华北地区湿润指数变化的主要影响因素，本文结合降水、气温、相对湿度、风速、日照时数等做了进一步分析，结果见表3。

表3 1960—2017年华北地区湿润指数与各要素的相关系数

	降水	气温	风速	相对湿度	太阳辐射
全年	0.889**	0.549**	-0.355**	0.838**	-0.251**
春季	0.864**	0.081	-0.081	0.767**	-0.528**
夏季	0.980**	0.426**	-0.384**	0.833**	-0.576**
秋季	0.845**	0.209**	-0.013	0.789**	-0.582**
冬季	0.975**	0.047	-0.238**	0.669**	-0.652**

注：**表示已通过置信度为0.01的显著性检验。

可以看出，从多年平均尺度上看，湿润指数与降水、相对湿度、气温呈显著正相关，且相关性依次递减；与风速、太阳辐射呈负相关，且相关性依次递增。在各影响要素中，降水是湿润指数变化的主导因素，二者整体变化规律呈现出相似的空间分布特点^[23]，相关性达到0.889；其次为相对湿度和气温；而与湿润指数呈负相关的太阳辐射和风速的影响则相对较小。

在季节上，春季湿润指数的变化主要受降水、相对湿度和太阳辐射的影响，太阳辐射的影响逐年递增；夏季湿润指数受气象因素作用的大小依次为降水、相对湿度、太阳辐射、气温和风速的影响显著；秋季为降水、气温、相对湿度和太阳辐射的影响；冬季气温较低，对湿润指数影响不显著。综合来讲，华北平原湿润指数的变化受降水、相对湿度和太阳辐射的影响较大，且前二者占主导地位。

在空间上，由于华北地区降水量呈现从南向北逐渐递增，相对湿度、日照等气候因子均受地理位置、气候条件及东南季风等因素的影响，共同造成湿润指数的空间差异性。

在此过程中，虽然降水量呈减少趋势^[23]，自然降水可用于蒸发的水量有限，但是灌溉用水也发挥着一定的作用。河北、北京、天津和山东西北部春季湿润指数呈现增大趋势即湿润化，这可能与灌溉有关，冬小麦返青，而冬春季降水较少，不能满足小麦生长所需水分，越冬水和返青灌溉补水可增加空气湿度，造成湿润指数与相对湿度呈正相关且相关性显著。冬季，由于全区降水量减少，气温下降，太阳辐射成为湿润指数的另一主导因素。

5 结论

通过对华北平原地表湿润程度演变及其影响因素分析，得出如下结论：

(1)空间分布：华北平原多年平均地表湿润指数介于0.485~1.4之间，空间差异较大，总体上表现为由东南向西北变干的趋势。位于研究区南端河南东部、安徽及江苏北部湿润指数在1.1~1.4之

间;研究区中部的河南北部及山东中南部则为0.6~1.0;研究区北部的天津、北京及河北湿润程度最低,为0.5~0.8之间。各季节湿润指数空间分布规律整体与年均分布一致,但指数值的区间范围和空间分布均有所差别。

(2)年际变化:1960—2017年华北平原大部分地区呈现出湿润指数变小趋势,即气候趋于干燥,变干速率为0~0.03/10a。但是,局部地区,如河南省中东部、安徽省北部,湿润指数呈略微增加趋势,变化率约为0.03/10a。各区域春、夏、秋季湿润指数呈下降趋势,而冬季呈湿润化趋势。年内变化:春季研究区北部出现变湿趋势,湿润指数增长率为0.001~0.030,中部和南部则逐渐变干,湿润指数以0~-0.03和-0.09~-0.12的速度逐年减小;夏季研究区湿润变化趋势则与春季变化相反,湿润指数南部逐年增大、中部和北部不断减小;秋季湿润指数南北出现变大趋势,而中部不断减小;冬季湿润指数全研究区出现变大趋势,南部增加速率最快,中部次之,北部最慢。

(3)影响因素:华北平原湿润指数与降水、相对湿度、气温呈显著正相关,相关系数分别为0.889、0.838和0.549;与风速、太阳辐射呈负相关,相关系数分别为-0.355和-0.251。其中,春季降水、相对湿度和太阳辐射相关性显著,各因素与湿润指数的相关系数为0.864、0.767和-0.528;夏季各要素对湿润指数影响均显著;降水、气温、相对湿度和太阳辐射对秋季湿润指数影响显著。

致谢:中国水利水电科学研究院李烁阳博士为本文提供了数据支持,在此致以最诚挚的谢意。

参 考 文 献:

- [1] HARTMANN D L, KLEIN Tank, et al. Climate Change 2013: The Physical Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 阿多, 赵文吉, 宫兆宁, 等. 1981—2013华北平原气候时空变化及其对植被覆盖度的影响[J]. 生态学报, 2017(2): 576-592.
- [3] 黄小燕, 张明军, 贾文雄, 等. 中国西北地区地表干湿变化及影响因素[J]. 水科学进展, 2011(2): 151-159.
- [4] 夏依木拉提·艾依达尔艾力, 赵蓉. 天山西部地区近50年干旱指数的演变特征[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8(2): 88-96, 106.
- [5] 赵一飞, 张勃, 张多勇, 等. 甘肃河东地区地表湿润特征及其气候影响因子[J]. 地理科学进展, 2013(1): 95-104.
- [6] 屈艳萍, 康绍忠, 王素芬. 甘肃石羊河流域人工种植新疆杨耗水规律研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2014, 12(2): 130-137.
- [7] 韩松俊, 邵薇薇. 基于互补原理确定黄土高原Budyko方程的流域特性参数[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2021, 19(1): 9-14, 24.
- [8] 张彩玲, 宋昕熠, 肖伟华, 等. GAMLSS模型在黄河流域蒸发皿蒸发量序列统计建模中的应用研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2020, 18(4): 295-304.
- [9] 赵志平, 关潇, 李果, 等. 近45年来青海三江源区干湿变化的趋势分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017(4): 148-153.
- [10] 徐羽, 吴艳飞, 徐刚, 等. 长三角地区地表干湿状况及极端干湿事件特征研究[J]. 自然资源学报, 2017(9): 1579-1590.
- [11] 刘宇峰, 原志华, 吴林, 等. 基于湿润指数的近55年安康地表干湿变化趋势及周期研究[J]. 自然灾害学报, 2016(3): 11-21.
- [12] 刘宇峰, 原志华, 封建民, 等. 基于地表湿润指数的1959-2014年陕西省地表干湿时空变化特征[J]. 干旱区地理, 2016(6): 1186-1196.
- [13] 张青雯, 崔宁博, 赵禄山, 等. 基于相对湿润指数的云南省季节性干旱变化特征[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(4): 278-284.
- [14] 胡琦, 董蓓, 潘学标, 等. 1961-2014年中国干湿气候时空变化特征及成因分析[J]. 农业工程学报, 2017(6): 124-132.

- [15] 刘畅. 1961—2015年中国陆地干湿变化特征及成因分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [16] 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(1): 11–15.
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [18] 王文, 王劲廷. 1951—2009年中国地表湿润状况变化趋势研究[J]. 气象与环境学报, 2011(5): 1–6.
- [19] 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(1): 45–54.
- [20] 马柱国, 符淙斌. 中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析[J]. 气象学报, 2001(6): 737–746.
- [21] 张红丽, 张强, 刘骞, 等. 中国干旱状况的时空分布特征及影响因素[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2016(4): 484–491.
- [22] 张方敏, 申双和. 中国干湿状况和干湿气候界限变化研究[J]. 南京气象学院学报, 2008(4): 574–579.
- [23] 范兰, 吕昌河, 杨彪, 等. 华北平原降水的长期趋势分析(英文)[J]. Journal of Geographical Sciences, 2012(6): 989–1001.

Spatial and temporal distribution characteristics of the humid index in North China Plain

ZHOU Zejiang¹, LI Baoqi², ZHAO Ziyue³, DONG Xiaoyong⁴, GU Jinpu⁵

(1. Guangxi Water & Power Design Institute Co., Ltd, Nanning 530023, China;

2. Shijiazhuang Tiedao University, School of Civil Engineering, Shijiazhuang 050043, China;

3. Hebei Second Survey and Design Institute of Water Conservancy and Hydropower, Shijiazhuang 050021, China;

4. Qinghai Investigation and Design Institute of Water Conservancy and Hydropower, Xining 810001, China;

5. Guizhou Xinzhongshui Engineering Co. Ltd, Guiyang 550000, China)

Abstract: With the deepening of climate change, the regional dry and wet conditions show high frequency and large amplitude changes. In the North China Plain, the change is greater due to the background difference in water resources, climate change and the impact of high levels of human activity. The moisture index can comprehensively reflect the dry and wet conditions of one region, and is a comprehensive index to comprehensively represent the moisture degree of the surface. Therefore, based on the daily meteorological data of 82 meteorological stations in the North China Plain from 1960 to 2017, the wettability index was adopted to analyze the evolution of surface wettability and its influencing factors in this region. The results show that the surface moisture of the North China Plain becomes dry gradually from southeast to northwest in space and shows a drying trend in time. Precipitation is the main factor of wetting index change, followed by relative humidity, and the effects of wind speed and solar radiation are relatively small. The relevant research results have a certain reference value to the North China Plain in reasonable response to climate change. It can also provide reference for the study of surface moisture degree in areas with poor water resource background under strong human activities.

Keywords: humidity index; evolution characters; influencing factor; North China Plain

(责任编辑: 王学风)