doi:10.16104/j.issn.1673-1891.2020.02.003

皖北平原近60 a冬小麦需水量及缺水量特征研究

吴雨纯,孙 朋*,李 娜,孙 萌,杨梦玉,蒋苗苗
(宿州学院环境与测绘工程学院,安徽 宿州 234000)

摘要:冬小麦需水量和缺水量变化分析是地区农业合理用水、制定科学灌溉方案的数据基础。选取典型农业区皖北平原为例,采用修正FAO-56 PM公式及分段单值平均系数法对皖北平原1959—2018年冬小麦需水量和缺水量进行计算,并通过M-K检验法分析近60 a来皖北地区冬小麦需水量和缺水量的趋势变化及突变现象。结果表明:(1)近60 a皖北地区年需水量呈现一定的波动起伏,需水量以2 mm/10 a的趋势下降,年需水量平均值为315.5 mm,需水量阈值为227.8~391.4 mm。皖北地区需水量空间差异不明显,呈自北向南逐渐减少,其中砀山县年均最大需水量为323.66 mm,阜阳市年均最小需水量为300.144 mm ,在1975年之后,皖北地区缺水量突变明显。(2)皖北地区冬小麦缺水量以2 mm/10 a的趋势小幅度下降,下降的幅度较小,且空间差异较小总体呈自北向南逐渐减少,其中砀山县年均最大缺水量为273.4 mm,阜阳市的年均最小缺水量为244.16 mm。(3)皖北地区多年平均缺水量为261.65 mm,年缺水量变化幅度为182.6~333.8 mm,突变点集中在1975—2018年,冬小麦的缺水量出现在生长中期。

关键词:皖北地区;冬小麦;需水量;缺水量
中图分类号:S512.1+1 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-1891(2020)02-0006-07

Characteristics of Water Need and Shortage for Winter Wheat on Northern Anhui Plain in the Past 60 Years

WU Yuchun, SUN Peng*, LI Na, SUN Meng, YANG Mengyu, JIANG Miaomiao
(School of Environment and Surveying Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234000, China)

Abstract: Analysis of water need and water shortage for winter wheat is of great significance to rational use of water and to formulation of scientific irrigation scheme in the region. In this paper we select the typical agricultural region of North Anhui plain as an example, and use the revised FAO-56 Penman-Monteith equation and the subsection single value average coefficient method to analyze the water need of Winter Wheat on the North Anhui plain from 1959 to 2018 based on meteorological data from Dangshan, Bozhou, Suzhou, Fuyang and Bengbu stations. The trend and mutation of water need and water shortage for Winter Wheat on Northern Anhui plain in recent 60 years were analyzed by M-K test. The results show that: (1)In recent 60 years, the annual water need in the north of Anhui Province is fluctuated to a certain degree, the water need is decreased in a 2 mm/10 a trend, the average annual water need is 315.5 mm, and the threshold water need is 227.8-391.4 mm; the spatial difference of water need in the north of Anhui Province is not obvious from north to south; the average annual water need at Dangshan County is 323.66 mm, and the average annual water need at Fuyang City is 300.144 mm; after 1975, there have been 14 mutation points, showing that the water shortage in the north of Anhui Province has changed obviously in recent 40 years. (2)The water shortage for Winter Wheat in the north of Anhui Province decreases in a 2 mm/10 a trend, with a small decline and a small spatial difference, and the total water shortage decreases gradually from north to south, with the maximum annual water shortage of 273.4 mm at Dangshan County and the minimum annual water shortage of 244.16 mm at Fuyang City; the annual average water shortage in the north of Anhui Province is 261.65 mm, and the annual water shortage change ranges from 182.6 to 333.8 mm; the mutation points concentrates in years from 1975 to 2018, and the water shortage for winter wheat occurs in the middle stage of its growth.

Keywords: North Anhui; winter wheat; water need; water shortage

0 引言

全球气候变化已是不争的事实,其中全球平均温度1880—2012年升高了约0.85 ℃[1]。气温升高带来的降水时空格局的变化会直接影响作物的生长发育和耗水过程,进一步影响了作物需水量和缺

收稿日期:2020-03-08
基金项目:安徽省教育厅高校自然科学重点项目(KJ2019A0670);宿州学院博士科研启动基金项目(2017jb04)。
作者简介:吴雨纯(2000—),女,安徽阜阳人,本科,研究方向:自然地理学研究。*通信作者:孙朋(1989—),男,安徽亳州人,讲师,博士,研究方向:资源环境学和生态水文学研究。

水量[2]。

近年来，作物需水量和缺水量的探讨被诸多国内外学者关注并开展了大量相关研究，取得许多重要成果。丛振涛等[3]利用SRA1B情景对我国主要作物需水量进行计算预测，其准确性得到各地的广泛认可；李春强等[4]利用84个地面气象站数据对河北省农作物需水量的分析表明，河北省主要作物的需水量在近35 a呈减少趋势；李勇等[5]对长江中下游不同地区的有效降水量和不同品种水稻的需水量、缺水量进行了探索分析，其结果表明，研究区内早稻、晚稻和单季稻生育期内需水量皆表现为减少趋势，其中单季稻和晚稻的需水量为显著减少，并提出从提高水分利用效率的来看，长江中下游地区更适宜种植双季稻[6-8]；杨晓琳等[9]分析了黄淮海农作区冬小麦需水量时空变化特征及气候影响因素，其结果是：近50 a来，冬小麦生育期需水量呈下降趋势，在空间上呈现两边多、中间少的分布，其中在豫西丘陵山地旱坡地一熟水浇地二熟区最高。明确作物需水量和缺水量等水资源指标的变化特征，对合理分配和利用水资源、提高农业水资源利用率，进而减少水资源不必要的浪费等都具有重要的现实意义。国内外预测参考作物的需水量和蒸散量的模型较多，目前认为比较精确且应用最多的是FAO于1998年修正的Penman-Monteith模型[10]，该模型适用于不同地区潜在水分蒸发量的计算[11-13]，从能量平衡和空气动力学理论出发结合水汽压、太阳净辐射、土壤热通量和风速等要素来确定潜在蒸发量，它能够较好地反映气候要素的综合影响，具有明确的物理意义[14]。

皖北地区是全国重要的粮食生产基地之一，也是农业取用水量较大的地区之一[15]。皖北地区位于淮河流域，流经该地的水量充沛，但存在以下问题：(1)调蓄能力不足。(2)水资源分配与利用能力较弱。(3)工农业及生活用水的处理不当，水污染相对严重，因此目前皖北地区水资源问题依旧突出[16]。随着经济的快速发展，城市化进程的加快，导致该地区农业用水进一步减少[17]，在水资源有限的情况下，合理分配利用水资源、提高农业灌溉水的利用率势在必行。

本文选取皖北地区作为典型区域，并以该区域内种植面积最大且种植结构稳定的冬小麦作为主要作物类型，采用美国灌溉与水文技术委员会修正的FAO-56彭曼公式和作物系数法，计算出作物蒸散量、需水量及缺水量，最后通过M-K法对1959—2018年皖北地区的冬小麦的需水量和缺水量的变化趋势进行突变分析，为全球气候变化背景下皖北地区农业合理利用水资源、制定科学灌溉方案提供支撑，同时也对于积极应对气候变化、调整种植区划和农业生产布局等具有参考意义。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

研究区为皖北平原，位于东经114°52′~118°10′，北纬32°32′~34°38′，北部与黄河决口扇形地相连，南部与江淮丘岗区隔淮河相望，覆盖安徽北部阜阳、宿州、亳州、蚌埠、淮北、淮南6市(图1)。该地区属于属暖温带半湿润季风气候：年平均气温为14~17 ℃；年平均降水量为773~1 670 mm，夏季降水丰沛，占年降水量的50%左右；全年无霜期200~240 d，10 ℃活动积温为4 600~5 300 ℃[18]。皖北平原的土地面积约39 149 km²，占安徽全省面积的33.3%，其中耕地面积约21 373 km²，占全省耕地面积的47.8%[19]。皖北平原地势平坦、土层深厚、水热条件良好、光照相对充足，从气温和地形2方面考虑适宜种植冬小麦。据统计，皖北平原冬小麦常年种植面积在12 000 km²以上，占全省种植面积的70%左右，是安徽省冬小麦的主要产区[20]。

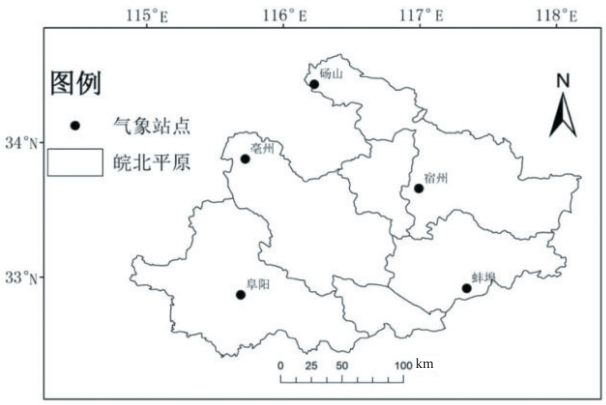


图1　研究区概况及气象站点分布

1.2 数据来源与处理

本文所用的研究数据来源于中国气象数据共享服务中心和中国气象数据网。属于包含皖北平原5个气象站点(图1)1959—2018年间逐日气象观测资料，其中包括气温、降水、日照时数、风速、相对湿度等气象要素。冬小麦的作物系数变化主要分为3个阶段：生长前期(S1)、生长中期(S2)和生长后期(S3)，结合他人研究成果与区域统计[21]，对冬小麦生长日期进行数据整理后取均值，统计结果如表1所示。

表1 冬小麦生长日期

生长阶段	S1(10.1—12.1)			S2(12.1—次年4.20)			S3(4.20—5.31)			
	播种—出苗	出苗—分蘖	分蘖—越冬	越冬—返青	返青—拔节	拔节—孕穗	抽穗—开花	开花—灌浆	灌浆—成熟	
日期	10.1—10.15	10.1—10.25	10.25—12.1	12.1—次年3.1	3.1—4.5	4.5—4.20	4.20—5.5	5.5—5.15	5.15—5.31	

2 研究方法

2.1 作物需水量计算

联合国粮食与农业组织表示,在供水充足的情况下,作物在某一时间段的需水量为作物系数与作物蒸散量之积[22],如式(1):

$$ET_c=K_cET_0 \quad (1)$$

式中,K_c为作物系数;ET_c为该时段作物需水量,单位为mm;ET_0为该时段作物蒸散量,单位为mm。下同。

*Kc*分段单值平均系数法:分段单值平均作物系数法是按照各生长阶段土壤蒸发与作物叶子表面蒸腾的关系,用某一阶段平均数表达该时段的作物系数[22]。作物系数受到了作物生长期、种类、地域差异等方面的影响,各方面情况不同作物系数亦不同。本文采用分段单值平均系数法计算,通过表1冬小麦生长期情况,得到冬小麦在不同阶段的作物系数[5],结果如表2所示。

表2 冬小麦不同生长阶段作物系数

生长阶段	S1	S2	S3
作物系数	0.9	1.36	0.63

作物蒸散量ET_0的计算利用美国灌溉与水文技术委员会FAO-56彭曼公式[24],

$$ET_0=\frac{0.48\Delta(R_n-G)+\gamma\frac{900}{t+273}u_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34u_2)} \quad (2)$$

其中,ET_0为作物蒸散量,单位为mm;Δ为饱和水汽压和温度曲线的斜率值,单位为kPa/℃;γ为湿度计常数;G为土壤热通量,单位为MJ/(m²·d);u_2为2 m高处风速,单位为m/s;R_n为表面净辐射量(适用性修正见公式(3)),单位为MJ/m²;e_s为大气饱和水气压,单位为kPa;t为日平均气温,单位为℃;e_a为实际水气压,单位为kPa/℃。净辐射量的修正公式如式(3):

$$R_{nl}=\sigma\left(\frac{T_{\min}^4+T_{\max}^4}{2}\right)(0.32-0.26\sqrt{10e_a})(0.3+0.7\frac{n}{N}) \quad (3)$$

其中,σ是Stefan-Boltzmann常数,为4.903×109 MJ/(K⁴·m²·d);$T_{\min}$为日最低气温,单位为K;$T_{\max}$为日最高气温,单位为K;n为实际日照时数,单位为h;N为可能日照时数,数据参照曹雯等[23]在安徽最优参考作物蒸散估算模型的参数化方案。

2.2 缺水量计算

作物缺水量(W)是指不同生长阶段作物需水量与有效降水量之差,如式(4):

$$W=ET_C-P_e \quad (4)$$

若W<0,则表示作物不缺水,近期不需要灌溉,有可能还需要排水;若W=0,则表示水分供需平衡,目前不需要灌溉;若W>0,则表示作物缺水,需要进行灌溉。

有效降水量*Pe*是指总降水量减去径流量、蒸发量和深层渗漏量[25],计算方法如式(5)和(6):

$$P_e=P(4.17-0.2P)/4.17 \quad (P<8.3\ \text{mm/d}) \quad (5)$$

$$P_e=4.17+0.1P \quad (P\geqslant 8.3\ \text{mm/d}) \quad (6)$$

式中,P_e为有效降水量,单位为mm/d;P为总降水量,单位为mm/d。

2.3 曼–肯德尔(M-K)法

曼–肯德尔(M-K)法适用于检测气温、降水、日照时数等要素的长时间变化趋势和突变情况,该方法对研究区数据的具体分布情况不作要求,且不被少数的异常数值影响。本文计算方法参考M-K突变检验法对水文时间序列的研究[24]。

3 结果与分析

3.1 皖北区需水量分析

图2为1959—2018年皖北地区需水量变化趋势图。由图2可知,皖北平原需水量整体以–0.20 mm/10 a小幅度减少的趋势,多年平均值为315.5 mm,最大需水量(391.4 mm)出现在1994年,最小需水量(227.8 mm)出现在1963年,1959—1978年呈减少的变化趋势,1978—1982年呈增加的变化趋势,1995年之后变化比较稳定。

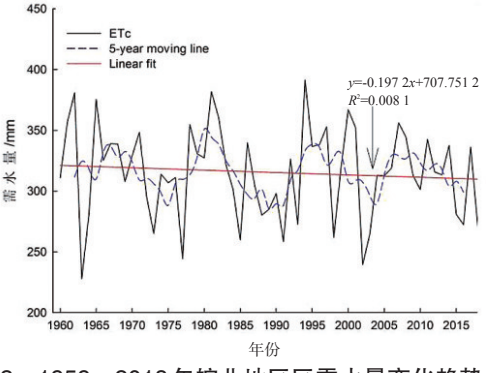
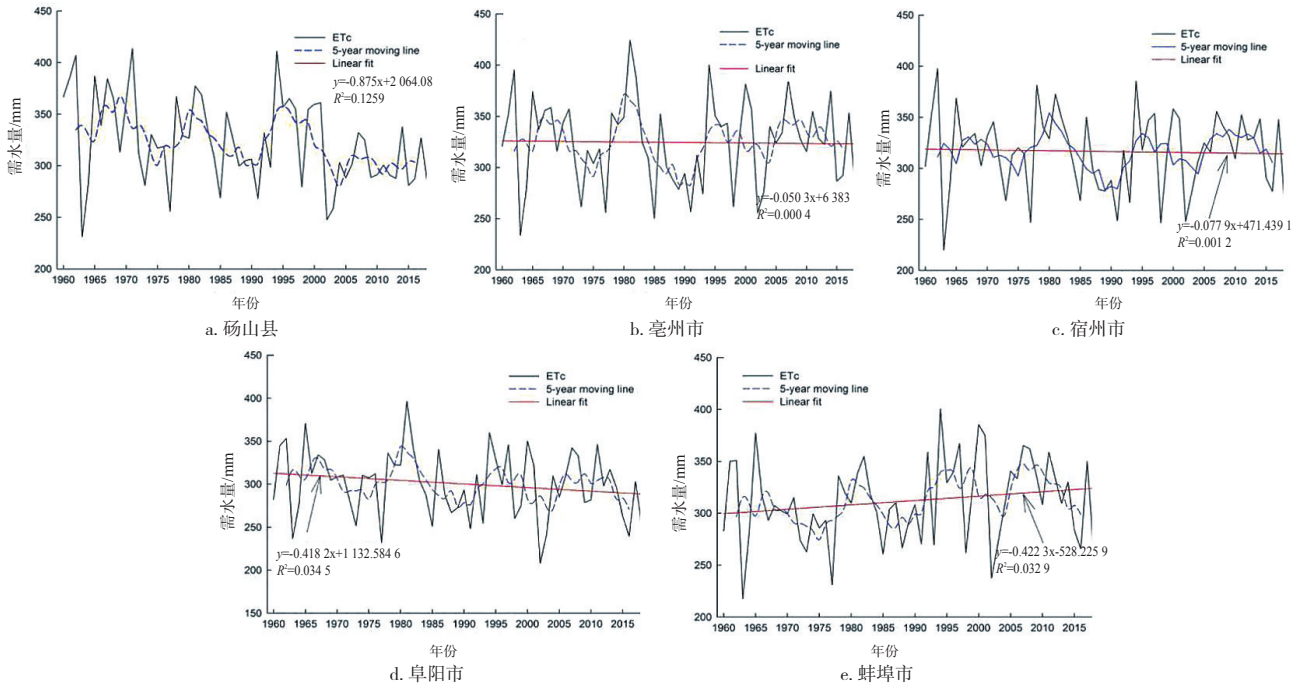


图2 1959—2018年皖北地区区需水量变化趋势

各站点需水量变化趋势差异有统计学意义,由

图3a可知，砀山总体需水量以-0.86 mm/10 a呈小幅度下降的趋势，多年平均值为323.66 mm，最大需水量（413.58 mm）出现1971年，最小需水量（231.08 mm）出现在1963年；1959—1992年呈小幅度减少，1993—1995年呈增加的变化趋势，1996—2018年趋势平稳（图3a）。亳州市需水量总体比较平稳，多年平均值为324.52 mm，最大需水量（424.36 mm）出现在1981年，最小需水量（233.73 mm）出现在1963年（图3b）。宿州市需水量总体变化比较稳定，多年平均值为316.49 mm，最大需水量（397.71 mm）出现在1962年，最小需水量（219.85 mm）出现在1963年（图3c）。阜阳市需水量整体以-0.42 mm/10 a呈下降的趋势，多年平均值为300.14 mm，最大需水量（396.51 mm）出现在1981年，最小需水量（208.21 mm）出现在2002年；1959—1978年呈减少趋势，1979—1982年呈增加趋势，1983年之后需水量变化比较平稳（图3d）。蚌埠市需水量总体以0.42 mm/10 a呈增加的趋势，多年平均值为311.82 mm，最大需水量（400.58 mm）出现在1994年，最小需水量（217.58 mm）出现在1963年；1959—1977年需水量呈减少的变化趋势，1978—2018年呈增加的变化趋势（图3e）。



a. 砀山县　b. 亳州市　c. 宿州市

d. 阜阳市　e. 蚌埠市

图3　1959—2018年研究区各站点需水量变化趋势

3.2 缺水量分析

由图4可以看出，皖北平原冬小麦缺水量整体以0.2 mm/10 a呈小幅度下降的趋势，多年均值为261.65 mm，缺水量最大值（333.8 mm）出现在1994年，最小值（182.6 mm）出现在1963年；1959—1991年呈小幅度减少趋势，1992—2018年呈小幅度增加趋势。

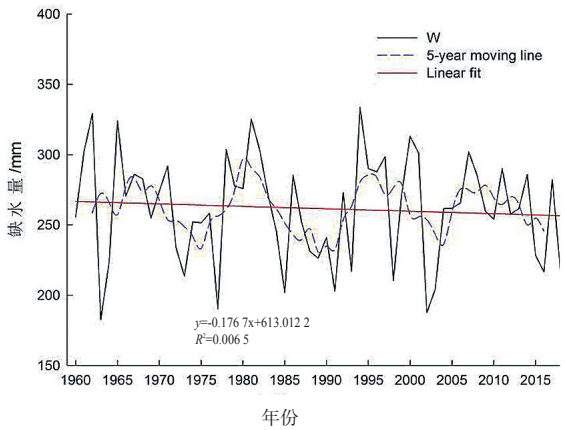
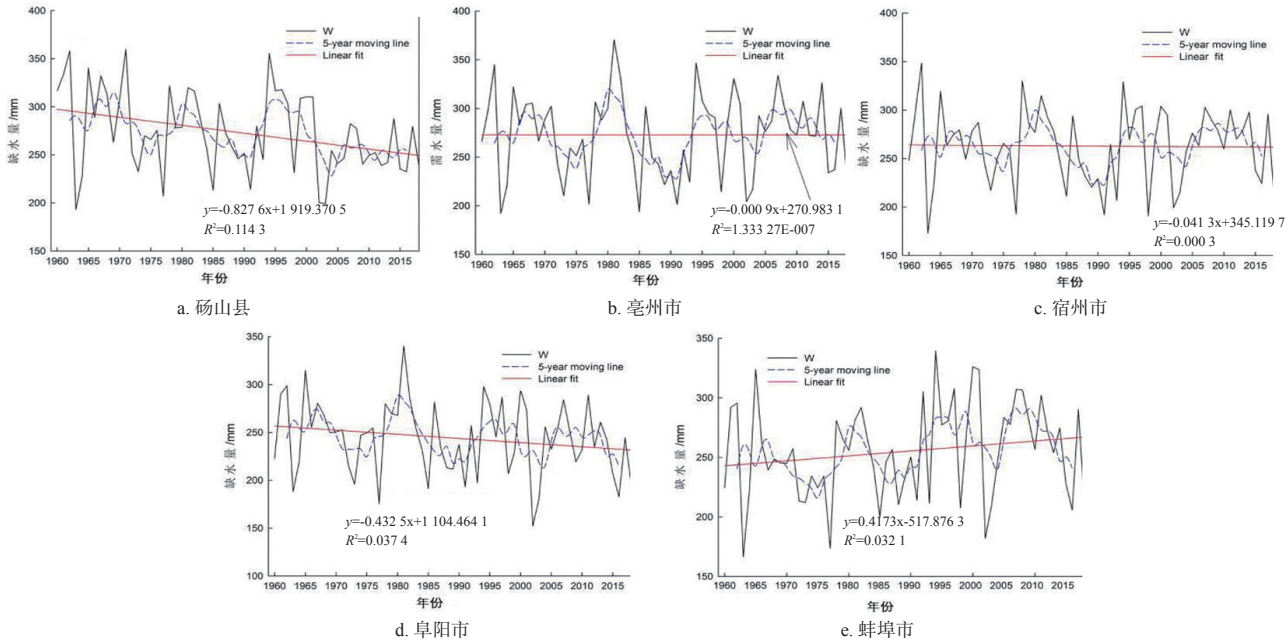


图4　1959—2018年皖北地区区缺量变化趋势

缺水量的区域变化体现在各站点差异有统计学意义，如图5所示。其中砀山县总体缺水量以0.4 mm/10 a呈现下降趋势，多年均值为273.4 mm，最大缺水量（359.8 mm）出现在1971年，最小缺水量（193.2 mm）在1963年出现；1959—1977年呈小幅度减少趋势，1978—1985年呈小幅度增加趋势，1985年之后缺水量变化比较平稳（图5a）。亳州市缺水量总体较为平稳，多年平均值为272.8 mm，最大缺水量（370.4 mm）出现在1981年，最小缺水量（192 mm）出现在1963年；1959—1982年呈小幅度增加趋势，1983年之后缺水量比较平稳，以弱幅度增加的变化趋势（图5b）。宿州市缺水量整体上比较稳定，多年平均值为262.88 mm，最大缺水量（348.5 mm）



a. 砀山县 b. 亳州市 c. 宿州市

d. 阜阳市 e. 蚌埠市

图5 1959—2018年研究区各站点缺水量变化趋势

出现在1962年,最小缺水量(173.1 mm)出现在1963年;1959—1977年呈小幅度减少趋势,1980—1992年也呈小幅度减少趋势,1993—2018年呈比较平稳的趋势(图5c)。阜阳市缺水量整体以0.04 mm/10 a呈小幅度下降的趋势,多年平均值为244.16 mm,最大缺水量(340.1 mm)出现在1981年,最小缺水量(152.3 mm)出现在2002年;1959—1973年呈小幅度减少趋势,1974—1982年呈大幅度增加趋势,1983—2018年总体呈小幅度减少趋势(图5d)。蚌埠市缺水量整体以0.4 mm/10 a呈小幅度上升的趋势,多年平均值为255.04 mm,最大缺水量(339.6 mm)出现在1994年,最小缺水量(166.5 mm)出现在1963年,1959—1967年呈增加趋势,1968—1987年呈小幅度减少趋势,1988年之后呈增加的变化趋势(图3e)。

3.3 突变分析

3.3.1 皖北平原冬小麦需水量的突变分析

利用Mann-Kendall检验方法对皖北平原近60 a的*ETc*的变化进行突变分析。由图6可知,在皖北地区,近60 a来UF曲线总体呈波动下降趋势,在1961—1963年2次突破了信度为0.05的置信线U=1.96。UF和UB曲线在1975之后14次相交于信度为0.05的置信线U=±1.96,则1975年之后皖北地区缺水量突变明显。

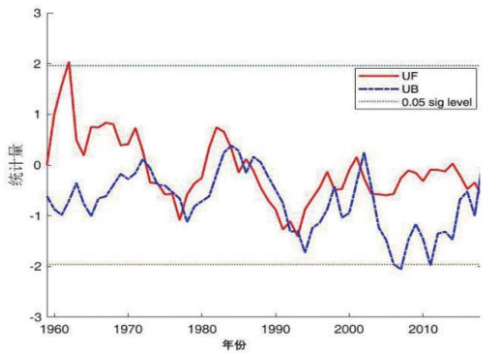


图6 皖北平原近60 a需水量突变分析

各站点有需水量突变趋势差异性明显。砀山地区UF曲线总体呈减少趋势,UF和UB曲线分别于1987、1997、2000和2002年4次相交于信度为0.05的置信线U=±1.96之间,则1987年为砀山需水量减少的突变点(图7a)。亳州地区UF曲线在1959—2018年总体呈波动减少趋势,在1992年之后,UF曲线有明显回生现象,且在1962年突破了信度为0.05的置信线U=1.96,UF和UB曲线于相交于信度为0.05的置信线U=±1.96之间11次,该地区需水量突变较明显(图7b)。宿州地区UF曲线总体呈波动减小趋势,UF和UB曲线于1964—2018年60年间相交于置信线之间10次,可以看出宿州55年间在1964年、1969—1971年、1982年以及2000—2004年、2015—2018年缺水量突变较为明显(图7c)。阜阳地区UF曲线总体呈减小趋势,UF和UB曲线在1985—2018年之间7次相交于信度为0.05的置信线U=±1.96,则阜阳在1984—1990年、2002—2004年和2014年缺水量突变比较明显(图7d)。蚌埠地区,UF曲线总体呈波动增加趋势,在1961—1963年和2008—2014年突破了信度为0.05的置信线U=1.96。在1959—1990年,UF和UB曲线5次相交于信度为0.05的置信线U=±1.96,则此期间蚌埠地区缺水量突变比较明显(图7e)。

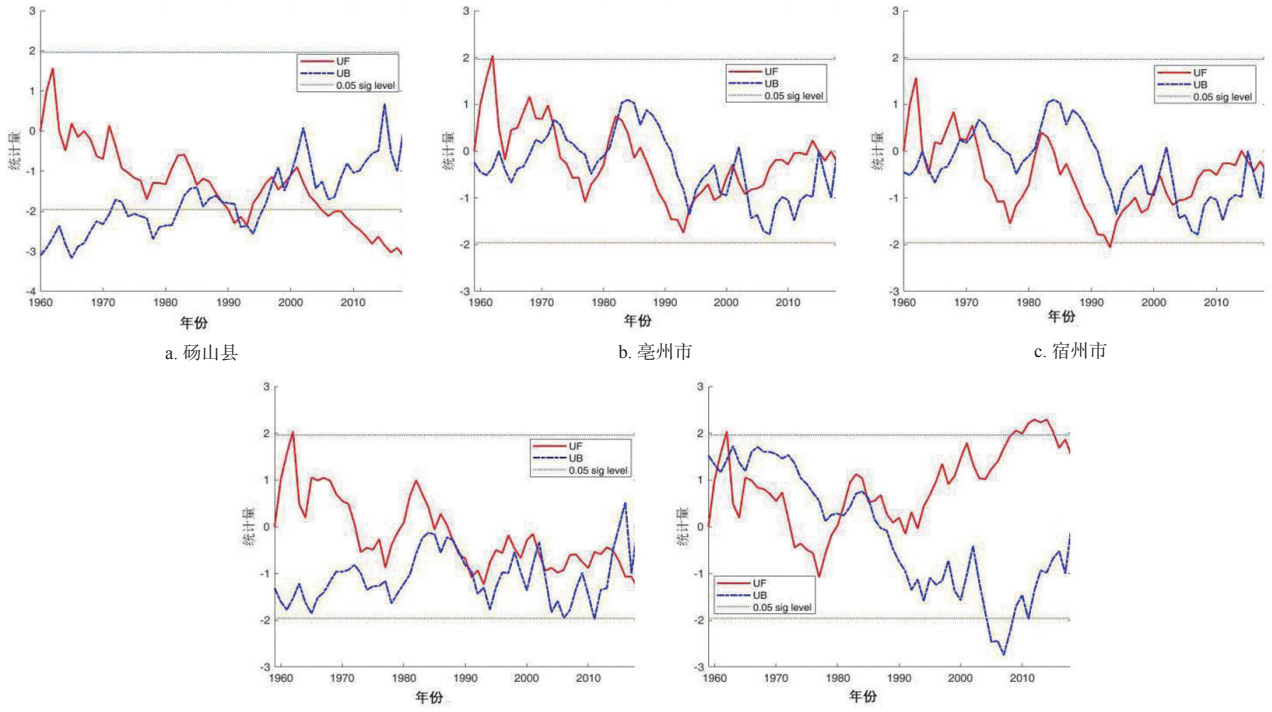


图7　研究区1959—2018年冬小麦需水量的MK突变分析图

皖北地区各个站点除了蚌埠地区UF曲线都呈减少的趋势,亳州、宿州还有阜阳需水量突变比较明显,而砀山和蚌埠地区突变不明显。

3.3.2 皖北平原冬小麦缺水量的突变分析

利用Mann-Kendall检验方法对皖北平原近60 a的缺水量的变化进行突变分析。由图8可知,在皖北地区,近60 a来UF曲线总体呈减小趋势,于1961—1963年2次突破信度为0.05的置信线U=1.96。UF和UB曲线在1978—2005年间的趋势几乎一致。在1975—2018年,UF和UB曲线相交于信度为0.05的置信线U=±1.96之间14次,则皖北地区在60a来缺水量突变比较明显。

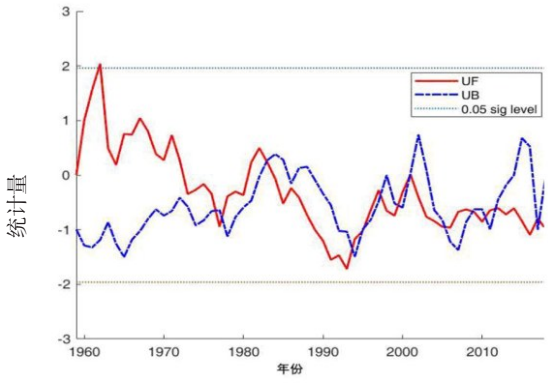
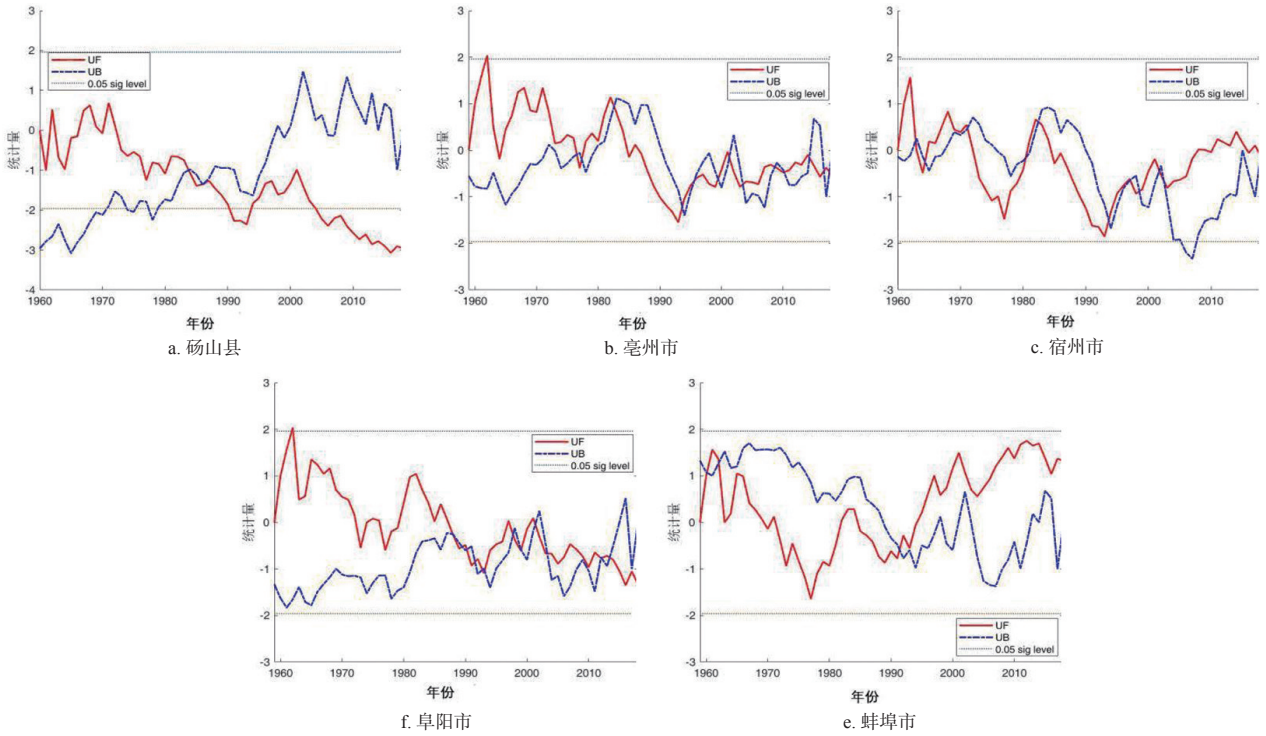


图8　皖北平原近60 a缺水量突变分析

砀山地区UF曲线总体呈减少趋势,于1990—1995年2次突破信度为0.05的置信线U=±1.96,UF和UB曲线于1984年相交于信度为0.05的置信线U=±1.96之间,1984年为砀山缺水量减少的突变点(图9a)。亳州地区UF曲线总体呈减小趋势,并于1961—1963年2次突破信度为0.05的置信线U=1.96,UF和UB曲线在1970—2018年间相交于信度为0.05的置信线U=±1.96之间10次,可以看出亳州地区在1959—2018年缺水量总体上相比较其他几个站点突变较为明显(图9b)。宿州地区UF曲线总体呈小幅度减少的趋势,1959—1992年UF曲线呈减小的趋势,1992—2018年UF呈增加趋势。UF和UB曲线在1959—2018年11次相交于信度为0.05的置信线U=±1.96之间,则宿州地区60 a在缺水量突变较明显(图9c)。阜阳地区UF曲线总体呈减小趋势,并于1961—1963年2次突破信度为0.05的置信线,UF和UB曲线在1985—2018年间相交于信度为0.05的置信线U=±1.96之间13次,也可以看出阜阳地区在1959—2018年缺水量总体上相比较其他几个站点突变较为明显(图9d)。蚌埠地区在1959—1986年UF曲线总体呈下降趋势,1986年之后,UF曲线有明显的回升迹象;在1959—1986年,UF和UB曲线相交2次,于1992年相交第3次,则1992年为蚌埠缺水量增加的突变点(图9e)。皖北平原各个站点的UF曲线多数呈下降趋势,亳州、宿州、阜阳还有蚌埠这4个站缺水量突变比较明显,砀山站点缺水量突变较小。



a. 砀山县 b. 亳州市 c. 宿州市

f. 阜阳市 e. 蚌埠市

图9 研究区1959—2018年冬小麦缺水量的MK突变分析图。

4 结论与讨论

4.1 结论

1)近60 a皖北平原年需水量呈现一定的波动起伏但空间差异不明显,呈自北向南逐渐减少,皖北地区的需水量以2 mm/10 a的趋势下降,年需水量平均值为315.5 mm。年最大需水量(391.4 mm)出现在1994年,最小需水量(227.8 mm)出现在1963年,低于年均需水量88.7 mm。

2)作物缺水量研究表明,研究区冬小麦缺水量整体呈波动下降趋势、下降的幅度较小且空间差异较小总体呈自北向南逐渐减少,缺水量的多年平均值为261.65 mm,缺水量最大值(333.8 mm)出现在1994年,最小值(182.6 mm)出现在1963年;突变点集中在1975—2018年,冬小麦的缺水量出现在生长中期。

4.2 讨论

本文重点对皖北平原冬小麦的需水量及缺水量特征进行研究,切口小、指向性明确。与前人研究[3-9]相比,本研究在皖北平原水资源紧缺的情况下,为皖北平原农作区合理利用水资源、制定科学灌溉方案提供支撑,同时也对积极应对气候变化、调整种植区划和农业生产布局等具有现实意义。研究得出,皖北平原近60 a冬小麦的需水量及缺水量整体呈下降的趋势,这与杨晓琳等[9]的研究结果一致。本研究利用美国灌溉与水文技术委员会实测FAO-56彭曼公式计算作物蒸散量,主要基于:(1)在不同的情境下与实测值较为接近,计算结果相对精确[25]。(2)该方法运用难度低,可较易应用于作物需水量的计算[6,26]。此外,本研究还根据皖北平原冬小麦生长期情况的相关数据通过分段单值平均系数法计算得到了皖北平原冬小麦在不同阶段的作物系数,并由此确定皖北平原冬小麦的缺水量出现在生长中期。

近年来,作物需水量和缺水量的研究不断深入。皖北平原作为我国粮食生产基地之一,因此研究皖北平原作物需水量及缺水量具有重要意义,而冬小麦是皖北平原农作区的主要粮食作物,故本文为以后研究皖北平原作物需水量及缺水量奠定了一定的基础。此外,鉴于皖北平原水资源短缺,降水年际变率大,旱涝自然灾害频发,严重制约了该区农业生产的高产稳产,因此对于皖北平原作物需水量和缺水量的研究还需要进一步地深入。

参考文献:

[1] IPCC.Climate change 2013:the physical science basis: contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovern-mental panel on climate change[R].Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

(下转第128页)

[12] 张维,孙守增,赵跃峰,等.《长安大学学报(自然科学版)》2002~2012年主要文献计量指标分析[J].长安大学学报(社会科学版),2014,16(3):81-87.
[13] 耿鹏,汪勤俭,冷怀明.我国医科大学学报学术影响力探究——基于CJCR和SJR文献计量分析[J].中国科技期刊研究,2014,25(4):550-555.
[14] 孟丽涛.《西昌学院学报(自然科学版)》2005—2016年高被引论文分析[J].西昌学院学报(自然科学版),2017,31(4):124-128.
[15] 李文婷,滕文静,周蓉.高校科技期刊载文相关指标的文献计量学分析——以《新疆大学学报》为例[J].新疆大学学报(自然科学版),2011,28(4):494-499.
[16] 夏朝晖.基金论文比在科技期刊评价体系中的作用探析[J].中国科技期刊研究,2008,19(4):574-577.
[17] 卢家政,安邦建.学报论文及作者的统计分析[J].海南大学学报(人文社会科学版),2001(1):130-133.
[18] 邢幸.《许昌学院学报》(社会科学版)文献计量分析[J].许昌学院学报,2016,35(3):149-156.

(责任编辑:曲继鹏)

(上接第123页)

参考文献:

[1] 教育部.关于全面深化课程改革落实立德树人根本任务的意见(教基二[2014]4号)[EB/OL].(2014-03-30)[2020-03-10].
[2] 教育部.普通高中物理课程标准(2017版)[M].北京:人民教育出版社,2018.
[3] 廖伯琴.高中物理课程标准(2017版)解读[M].北京:高等教育出版社,2018.
[4] 梁旭.物理观念的结构与形成过程探究[J].中学物理教学参考,2018,(9):22-26.
[5] 教育部.普通高中物理课程方案[M].北京:人民教育出版社,2018.

(责任编辑:曲继鹏)

(上接第12页)

[2] 丛振涛,幸儒,姚本智,等.基于HadCM3模式的气候变化下北京地区冬小麦耗水研究[J].水利学报,2010,41(9):1101-1107.
[3] 丛振涛,姚本智,倪广恒.SRAIB情景下中国主要作物需水预测[J].水科学进展,2011,22(1):38-43.
[4] 李春强,李保国,洪克勤.河北省近35年农作物需水量变化趋势分析[J].中国生态农业学报,2009,17(2):359-363.
[5] 李勇,杨晓光,叶清,等.1961—2007年长江中下游地区水稻需水量的变化特征[J].农业工程学报,2011,27(9):175-183.
[6] 吴燕锋,巴特尔·巴克,罗那那,等.石河子地区冬小麦生育期需水量变化特征及其气候成因[J].水土保持通报,2016,36(1):69-74.
[7] 金华星,胡姗姗,龚年祖,等.滁州市冬小麦生育期作物需水量和降水变化特征[J].水土保持研究,2017,24(2):178-183.
[8] 张波,谷晓平,古书鸿,等.贵州水稻有效降水量和需水量特征分析[J].浙江农业学报,2019,31(2):191-199.
[9] 杨晓琳,宋振伟,王宏,等.黄淮海农作区冬小麦需水量时空变化特征及气候影响因素分析[J].中国生态农业学报,2012,20(3):356-362.
[10] ALLEN R G. An update for the defintion of reference evapotranspiration[J]. ICID Bulletin,1994,43(2):64-92.
[11] 秦年秀,陈喜,薛显武,等.潜在蒸散发量计算公式在贵州省适用性分析[J].水科学进展,2010,21(3):357-363.
[12] 马海姣,崔晨风,李宏斌,等.黄土高原34年蒸发皿蒸发量的变化特征分析[J].安徽农业科学,2013,41(10):4506-4509.
[13] 朱国锋,何元庆,蒲焘,等.1960—2009年横断山区潜在蒸发量时空变化[J].地理学报,2011,66(7):905-916.
[14] LI S,KANG S,ZHANG L,et al.Evaluation of six potential evapotranspiration models for estimating crop potential and actual evapotranspiration in arid regions[J].Journal of Hydrology,2016,543:450-461.
[15] 赵宏海.安徽省城镇化与农业现代化协调发展研究[D].合肥:安徽大学,2013.
[16] 孙昊.水资源约束下皖北经济发展研究[D].蚌埠:安徽财经大学,2015.
[17] 周健.安徽省淮河流域水资源形势与对策[J].水利规划与设计,2012(4):14-16.
[18] 徐成怀,程筱华.低温冷害对水稻的影响及防御措施[J].安徽农学通报,2007,13(10):159+123.
[19] 丁玉婉.基于MODIS影像数据的安徽北部冬小麦种植面积提取研究[D].合肥:安徽大学,2019.
[20] 王胜,田红,杨玮,等.基于灾损的安徽冬小麦干旱灾害风险评估[J].中国农业大学学报,2015,20(1):195-204.
[21] 吴文玉,孔芹芹,王晓东,等.安徽省近40年参考作物蒸散量的敏感性分析[J].生态环境学报,2013,22(7):1160-1166.
[22] 孙朋,谢新洲,刘娜,等.南北气候过渡区主要作物有效降水量、需水量及缺水量特征分析[J].沈阳大学学报,2019,31(6):474-482.
[23] 曹雯,杨太明,陈金华,等.安徽省参考作物蒸散模型参数化[J].农业工程学报,2016,32(S2):60-68.
[24] 王瑶,赵传燕,田风霞,等.黑河中游春小麦需水量空间分布[J].生态学报,2011,31(9):2374-2382.
[25] 刘钰,PEREIRA L S.对FAO推荐的作物系数计算方法的验证[J].农业工程学报,2000,16(5):26-30.

(责任编辑:蒋召雪)