

# 1971—2010年气候变化对河南省主要作物需水量的影响

周迎平<sup>1,2</sup> 胡正华<sup>1,2</sup> 崔海玲<sup>2</sup> 陈书涛<sup>2</sup> 师丽魁<sup>1</sup>

## 摘要

以小麦、玉米、棉花、花生等主要农作物为研究对象,选取河南省12个气象站点1971—2010年的气象资料,采用联合国粮农组织(FAO)推荐的Penman-Monteith公式计算参考作物生育期内需水量,分析其生育期需水量变化规律。结果表明:河南省多个地区需水量的年内分布,都在6月达到全年的最高值,在11或12月降至全年的最低值;需水量最大的是棉花,其次是小麦、花生和玉米;近40年,棉花、小麦、花生和玉米的需水量都表现为减少趋势。通过分析各气象因子与需水量的相关性发现:平均风速与作物需水量显著正相关,由于平均风速大幅下降,从而在很大程度上抵消了因其他气象因子变化引起的需水量增加趋势,造成主要作物生育期需水量的减少。

## 关键词

气候变化;作物需水量;气象因子;河南省

中图分类号 S161

文献标志码 A

收稿日期 2012-12-07

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GY-HY201306046);中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室开放基金(AMF200901);江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)

## 作者简介

周迎平,女,硕士生,主要研究方向为农业气象与生态。196623395@qq.com

胡正华(通信作者),男,博士,副教授,主要研究全球气候变化生态。zhhu@nuist.edu.cn

1 河南省气象科学研究所,郑州,450003

2 南京信息工程大学江苏省农业气象重点实验室,南京,210044

## 0 引言

IPCC指出,1906—2005年全球地表气温上升了 $(0.74 \pm 0.18)^\circ\text{C}$ <sup>[1]</sup>,气候变暖成为关系人类未来生存和发展的重大环境问题,受到各国政府及国际学术界的广泛关注<sup>[2]</sup>。气候变化对自然生态系统和人类生存环境产生显著影响,并将对社会经济的发展产生重大影响,其中对农业、生态系统和水资源等的影响将是直接而深远的<sup>[3]</sup>。我国是受气候变化影响较严重的国家之一,气候变化在一定程度上改变了我国气候的时空格局,导致农业气候资源时空格局的显著变化<sup>[4]</sup>。

水资源是限制农业发展的重要因素之一,水资源在时空上的重新分布以及在数量上的改变都直接影响农业生产和粮食安全。目前,水资源作为受气候变化影响的敏感领域,已成为应对气候变化的研究热点之一<sup>[5]</sup>。作物需水量是农业用水的主体,也是国民经济消耗水分的重要组成部分。农作物需水量研究对水的生产力和水灌溉意义重大,加强农作物需水量研究亦是农业可持续发展迫在眉睫的任务<sup>[6]</sup>。气温、日照时数、风速、降水等因素的持续变化都可能会改变水文要素,进而影响作物需水量。

河南省是我国重要的粮棉主产区,小麦、玉米等主要农作物产量均居全国前列,是重要的优质农产品生产基地<sup>[7]</sup>。河南省位于亚热带向暖温带过渡区,气候资源丰富多样,气候变化特征也比较明显<sup>[8-9]</sup>。本文运用1971—2010年河南省气象资料,分析气候要素的变化趋势,定量研究气候因素对作物需水量的影响规律,对于合理进行水资源规划和制定科学合理的水资源管理方案具有一定的理论意义和使用价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究区概况

河南位于中国中东部、黄河中下游,110°21'~116°39'E,31°23'~36°22'N之间。全省总面积 $1.67 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,耕地面积达 $7.93 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。全省由南向北年平均气温为 $15.7 \sim 12.1^\circ\text{C}$ ,年均降水量 $1\,380.6 \sim 532.5 \text{ mm}$ ,年均日照 $1\,848.0 \sim 2\,488.7 \text{ h}$ ,全年无霜期 $189 \sim 240 \text{ d}$ ,适

宜多种农作物生长.近50年来,河南干旱面积增加,洪涝面积减少,尤其是20世纪80年代中期以来,干旱化程度加重,农业干旱灾害发生的频次和强度呈明显的增强趋势.

## 1.2 资料来源

选取全省12个气象台站1971—2010年的地面气象观测资料,要素包括:日平均气温、日最高气温、日最低气温、日平均风速、日相对湿度、日照时数.结合各台站的海拔高度、纬度等数据,计算了冬小麦、夏玉米、棉花和花生等主要作物需水量.地面气象观测资料来源于国家气候中心,12个站点基本信息见表1.

表1 12个气象台站基本信息

Table 1 Basic information of the 12 meteorological stations

台站	经度/E	纬度/N	海拔/m	均温/°C
安阳	111°24'	36°03'	62.9	12.97
新乡	113°53'	35°19'	73.2	13.27
卢氏	111°02'	34°03'	568.8	11.86
南阳	112°35'	34°02'	129.2	14.89
商丘	115°40'	34°27'	44.2	13.83
郑州	113°39'	34°43'	110.4	13.74
开封	114°18'	34°47'	73.7	13.46
许昌	113°52'	34°02'	66.8	13.77
孟津	112°26'	34°49'	352.6	14.74
西华	114°31'	33°47'	33.3	13.57
宝丰	113°03'	33°53'	136.4	14.06
驻马店	114°01'	33°00'	82.7	14.67

## 1.3 作物需水量计算

使用作物系数法计算作物在某一时段的需水量<sup>[10]</sup>,计算公式<sup>[11]</sup>为

$$E_{tc} = K_c \times E_{t0}, \quad (1)$$

式(1)中: $E_{tc}$ 为计算时段内的作物需水量,单位为mm; $E_{t0}$ 为相应时段的参考作物蒸散量,单位为mm.河南省全年种植的主要作物以小麦、玉米、棉花和花生为主, $K_c$ 为相应时段小麦、玉米、棉花和花生的作物系数.本文计算中取的 $K$ 值见表2( $K_{c1}$ 、 $K_{c2}$ 、 $K_{c3}$ 分别是作物幼苗、开花、成熟期作物系数).

表2 不同生育期作物系数

Table 2 Crop coefficients in different growth periods

作物	$K_{c1}$	$K_{c2}$	$K_{c3}$
小麦	0.70	1.15	0.40
玉米	0.40	1.15	1.05
花生	0.40	1.15	0.60
棉花	0.35	1.15	0.70

彭曼-蒙蒂斯(Penman-Monteith)法是联合国粮农组织(FAO)推荐使用计算参考作物蒸散量的方法<sup>[12]</sup>,FAO标准化的Penman-Monteith公式<sup>[13-15]</sup>为

$$E_{t0} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + r \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34U_2)}, \quad (2)$$

式(2)中: $E_{t0}$ 为参考作物蒸散量,单位为 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ; $\Delta$ 为饱和水汽压与空气温度关系曲线的斜率,单位为 $\text{kPa} \cdot \text{°C}^{-1}$ ; $R_n$ 为灌层表面净辐射,单位为 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ; $G$ 为土壤热通量,单位为 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ; $r$ 为干湿表常数,单位为 $\text{kPa} \cdot \text{°C}^{-1}$ ; $T$ 表示2m高处日平均气温,单位为 $\text{°C}$ ; $U_2$ 表示地面以上2m高处的气速,单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; $e_s$ 为饱和水汽压,单位为 $\text{kPa}$ ; $e_a$ 为实际水汽压,单位为 $\text{kPa}$ .

式(2)中参量的求取需要以下资料或数据:最高气温、最低气温、平均气温、风速、饱和水汽压、实际水汽压、相对湿度、海拔高度、地表辐射、星际辐射、日照时数、纬度、净短波辐射、净长波辐射等,具体计算公式见表3.通过河南省12个站点1971—2010年的上述资料,计算得到 $E_{t0}$ 以及主要作物(小麦、玉米、棉花、花生)全生育期内的需水量.

## 1.4 统计分析

使用Excel 2003对不同作物需水量进行计算分析,并运用SPSS 16.0(SPSS Inc. Chicago, IL, USA)对不同作物需水量与各气象因子进行相关性分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 气象因子变化特征

对河南省12个站点近40年主要作物生育期内各气象因子的变化趋势进行计算分析,生育期内河南省平均气温、最高气温和最低气温表现为升高趋势,每10年变化范围分别为 $-4.04 \sim 28.94 \text{ °C}$ 、 $3.05 \sim 34.88 \text{ °C}$ 和 $-7.56 \sim 24.29 \text{ °C}$ ,平均变化水平分别为 $0.14$ 、 $0.04$ 和 $0.25 \text{ °C}$ ;日照时数、相对湿度和风速表现为降低趋势,每10年变化范围分别为 $1.32 \sim 8.37 \text{ h}$ 、 $45.14\% \sim 86.41\%$ 和 $0.74 \sim 3.48 \text{ m/s}$ ,平均变化水平分别减少 $1.28 \text{ h}$ 、 $2.14\%$ 和 $0.10 \text{ m/s}$ .

### 2.2 作物需水量变化趋势

#### 2.2.1 参考作物蒸散量 $E_{t0}$ 的时空特征

图1和图2分别表示1971—2010年,河南全省月均 $E_{t0}$ 值和河南省12个气象站点的月均 $E_{t0}$ 曲线分布.由图1可见河南省的月均参考作物蒸散量呈抛物线型,在6月达到全年的最高值,在11月降至全年的最低值.

表3 参考作物蒸散量相关参数的计算

Table 3 Calculation equations of relevant parameters for reference crop evapotranspiration

参数计算	单位
$\Delta = 2504 \exp[17.27T/(T + 237.3)] / (T + 237.3)^2$	$\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$
$\gamma = 0.00163P/\lambda$ , 其中 $\lambda = 2.45$ ,	$\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$
$P = 101.3[(293 - 0.0065H)/293]^{5.62}$	$\text{kPa}$
$e_s = [e_0(T_{\max}) + e_0(T_{\min})]/2$	$\text{kPa}$
$e_0(T) = 0.611 \exp[17.27T/(T + 237.3)]$	$\text{kPa}$
$G = 0.07(T_{i+1} - T_{i-1})$	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$
$R_n = R_{ns} - R_{nl}$	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$
$R_{nl} = 2.45 \times 10^{-9} [1.35(0.25 + 0.5n/N) / (0.75 + 2 \times 10^{-5}H) - 0.35] [0.34 - 0.1(e_a)^{1/2}] (T_{kx}^4 + T_{kn}^4)$ ,	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$
$R_{ns} = 0.77R_a(0.25 + 0.5n/N)$	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$
$R_a = 37.6d_r(\omega_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s)$	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$
$d_r = 1 + 0.033 \cos(0.0172J)$	
$\delta = 0.409 \sin(0.0172J - 1.39)$	rad
$\omega_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta)$	rad
$U_2 = 4.87U_z / \ln(67.8z - 5.42)$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

注:  $d_r$ —日地相对距离;  $e_a$ —实际水汽压;  $e_s$ —饱和水汽压;  $G$ —土壤热通量;  $H$ —海拔高度;  $J$ —在年内的天数;  $n/N$ —日照百分率;  $P$ —海拔高度  $H$  处的气压;  $R_a$ —大气上界辐射;  $R_n$ —灌层表面净辐射;  $R_{nl}$ —净长波辐射;  $R_{ns}$ —净短波辐射;  $T$ —平均气温;  $T_{kn}$ —最低绝对气温;  $T_{kx}$ —最高绝对气温;  $T_{\max}$ —最高气温;  $T_{\min}$ —最低气温;  $U_2$ —2 m 高处的风速;  $U_z$ —测量点平均风速;  $\omega_s$ —日落时角;  $z$ —风速测量高度;  $\Delta$ —饱和水汽压与温度关系曲线的斜率;  $\gamma$ —干湿表常数;  $\delta$ —太阳赤纬;  $\phi$ —纬度。

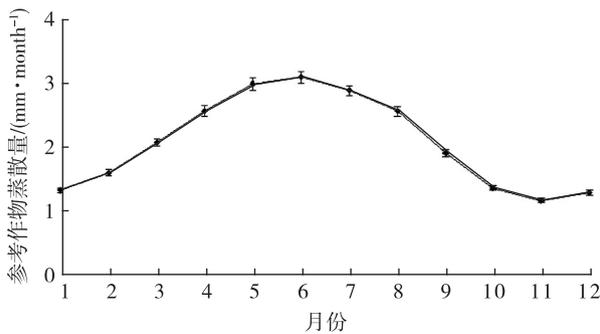


图1 1971—2010年河南省参考作物蒸散量变化趋势  
Fig. 1 Trend of reference crop evapotranspiration in Henan province during 1971—2010

由图2可见各站点的月均参考作物蒸散量均呈抛物线型,其走势大致相同,但是地区间差异较大. 各地参考作物蒸散量都在6月达到全年的最高值,在11或12月降至全年的最低值. 1—6月  $E_{00}$  持续上升,其中3—5月上升速度最快,而6—11月  $E_{00}$  持续下降,其中6—8月的下降速度最快. 在近40年里,月均  $E_{00}$  最大值为3.46,出现在商丘6月,月均  $E_{00}$  最小值为0.36,出现在卢氏11月.

2.2.2 主要作物需水量

表4为主要作物种植区各站点近40年的需水量变化趋势. 结果表明:从1971—2010年,冬小麦需水量除安阳、许昌、孟津3个站点为增加趋势外,其

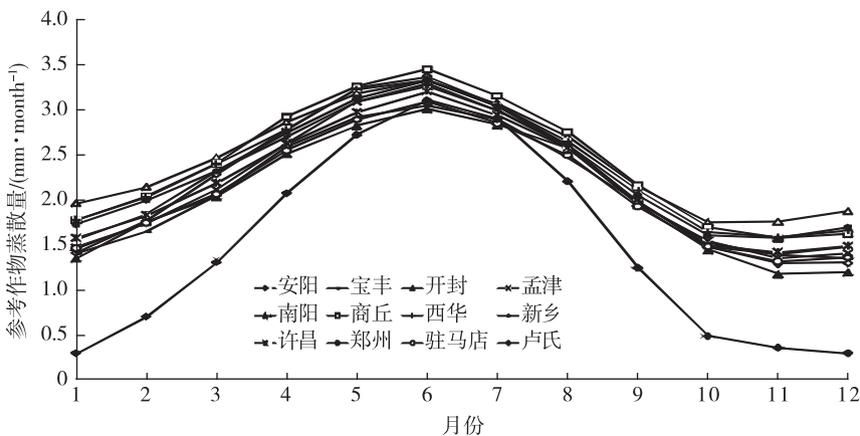


图2 1971—2010年12个站点月均参考作物蒸散量变化

Fig. 2 Monthly variation of reference crop evapotranspiration in 12 meteorological stations during 1971—2010

余9个站点均呈不同程度的下降趋势,且每10年平均下降水平最大的站点是西华,下降23.621 mm. 玉米和棉花需水量除许昌站为增加趋势外,其余11个站点均呈不同程度的下降趋势. 玉米和棉花每10年平均下降水平最大的站点是都西华,分别为11.913和22.98 mm. 花生需水量除孟津站为增加趋势外,其余11个站点均呈不同程度的下降趋势,且每10年平均下降水平最大的站点是商丘,下降11.596 mm.

表4 河南省主要作物需水量的线性变化趋势

Table 4 Linear change coefficients of main crop water requirement in Henan province

站台	冬小麦	夏玉米	花生	棉花
安阳	0.069 3	-0.367 6	-0.509 8	-0.223 3
新乡	-0.015 7	-0.131 5	-0.154 8	-0.015 7
郑州	-1.429 3	-0.640 1	-0.735 4	-1.312 0
开封	-1.004 4	-0.555 5	-0.344 7	-1.179 0
许昌	0.592 1	0.095 7	-0.081 9	0.106 7
宝丰	-0.822 6	-0.538 7	-0.640 3	-1.692 4
南阳	-0.505 0	-0.279 0	-0.224 8	-0.762 8
驻马店	-0.932 7	-0.400 2	-0.407 6	-1.005 2
商丘	-1.612 5	-0.857 3	-1.159 6	-1.959 3
西华	-2.362 1	-1.191 3	-1.142 2	-2.298 0
孟津	0.086 8	-0.458 6	0.062 1	-0.925 8
卢氏	-0.758 5	-0.727 5	-0.339 8	-0.808 2

根据公式计算,主要作物需水量见图3. 由图3可知:河南省多年(1971—2010年)冬小麦平均需水量427.5 mm,其中,最大值466.5 mm,出现在1993年,最小值394.3 mm,出现在1991年;玉米平均需水量281.8 mm,其最大值308.2 mm,出现在1993年,最小值265.8 mm,出现在1991年;棉花平均需水量460 mm,其最大值为525.3 mm,出现在1981年,最小值422.8 mm,出现在2010年;花生平均需水量351.4 mm,其最大值为426 mm,也出现在1993年,最小值327.3 mm,出现在2010年. 另外,需水量最多是棉花,其次是小麦、花生,最少的是玉米. 整体上,从1971—2010年,河南省主要作物的需水量在近40年呈下降趋势,棉花、小麦、花生和玉米的需水量每10年分别下降10.8、7.54、4.67和4.55 mm.

研究表明,中国主要作物多年平均需水量大的作物依次是水稻、棉花和小麦<sup>[16]</sup>. 近几十年来,水稻、小麦和玉米等作物需水量均发生了明显变化,而不同地区的变化特征有所不同<sup>[17-23]</sup>. 作物需水量的

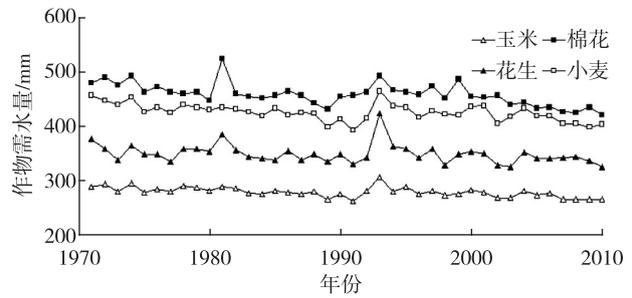


图3 1971—2010年主要作物需水量变化趋势

Fig. 3 Trend of main crop water requirements in Henan province during 1971—2010

多少,取决于其生育期的长短和需水强度. 不同作物的需水量不同,例如棉花生长期较长,从4月中下旬至10月中下旬,全生育期的需水量是比较多的,为500~620 mm,且从南向北逐渐增大. 花生的植株小,全生育期的需水量大约为300~450 mm. 冬小麦的生育期较长,需水量较大,为400~500 mm. 从播种到越冬,需水强度逐渐减少,可能是因为越冬期气温低,作物生长缓慢,需水强度最小. 春季返青后生长加快,需水强度也逐渐增大,植株衰老后需水强度逐渐减小. 夏玉米生长期一般为6月中旬至9月中旬,生育期为90~100 d,全生育期需水量230~400 mm. 由于生长期短,热量条件差异不大,玉米需水量在地区间差别较小. 这与刘钰等<sup>[16]</sup>对中国主要作物灌溉需水量的研究结果相似.

## 2.3 作物需水量与气象因子的关系

### 2.3.1 冬小麦

虽然河南省大部分地区的气温在20世纪80年代后期以来呈明显的升高趋势,但作物需水量并未因此而增加. 其原因是气温变化的同时其他气象如降水、风速、相对湿度等也发生变化,而影响水分变化的因素是多方面的,且不同地区、不同季节各气象因子的影响作用大小不同. 表5列出的是河南省4种主要作物需水量与气象因子的相关系数. 由表5可知,冬小麦需水量与风速表现为极显著正相关,与最高气温、日照时数和相对湿度表现为不显著正相关,与平均温度和最低温度呈不显著负相关. 气象因子对冬小麦需水量的影响顺序为:平均风速 > 日最低温 > 平均温度 > 相对湿度 > 日最高温 > 日照时数.

由于40年来冬小麦生育期平均气温、最高气温、最低气温呈增加趋势,而日照时数和风速呈降低

表5 作物需水量与气象因子相关系数

Table 5 Correlation coefficients between crop water requirement and meteorological factors

作物	平均温度/°C	日最高温/°C	日最低温/°C	日照时数/h	相对湿度/%	平均风速/(m·s <sup>-1</sup> )
小麦	-0.181	0.118	-0.234	0.087	0.145	0.461**
玉米	-0.029	0.256	-0.368*	0.005	-0.024	0.670**
棉花	-0.219	-0.073	-0.425**	0.185	0.206	0.543**
花生	0.040	0.254	-0.258	0.107	-0.207	0.436**

注:  $n=40$ ; \*, \*\* 分别表示  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$ .

趋势,平均风速与冬小麦需水量呈显著正相关关系,这将引起冬小麦需水量显著减少.最高气温与冬小麦需水量虽然呈正相关,它所引起冬小麦需水量增加的幅度没有平均风速、相对湿度等引起冬小麦需水量下降的幅度大,因而河南省冬小麦生育期需水量呈显著减少趋势.

### 2.3.2 夏玉米

夏玉米需水量与平均风速表现为显著正相关,与日最高温和日照时数呈不显著正相关,与最低温度呈显著负相关,与平均温度和相对湿度呈不显著负相关.气象因子对夏玉米需水量的影响顺序为:平均风速 > 日最低温 > 日最高温 > 平均温度 > 相对湿度 > 日照时数.平均风速的降低趋势是导致夏玉米需水量显著减少的主要原因.

### 2.3.3 棉花

棉花需水量与平均风速主要表现为显著正相关,与日照时数、相对湿度呈不显著正相关,与最低温度表现为显著负相关,与平均温度、最高温度呈不显著负相关.气象因子对花生需水量的影响顺序为:平均风速 > 日最低温 > 平均温度 > 相对湿度 > 日照时数 > 日最高温.棉花生育期内相对湿度、平均风速和日照时数呈降低趋势,其他气象因子均为升高趋势.由于相对湿度和平均风速的降低幅度较大,而其降低幅度比平均气温等带来的作物需水量增加的幅度大,最终导致棉花生育期需水量显著减少,平均风速的较大幅度降低是导致棉花生育期需水量显著减少的主要原因.

### 2.3.4 花生

花生需水量与平均风速主要表现为显著正相关,与平均温度、日最高温和日照时数呈不显著相关,与最低温度、相对湿度呈不显著相关.气象因子对花生需水量的影响顺序为:平均风速 > 日最低温 > 日最高温 > 相对湿度 > 日照时数 > 平均温度.花生生育期内平均温度和最低温度呈增加趋势,其他气象因子均为降低趋势.与以上3种作物相同,由最低气温和

平均气温所引起的需水量增幅不大,而风速的降低引起花生生育期需水量大幅降低.

## 3 结论

近40年来,河南省参考作物蒸散量都在6月达到全年的最高值,在11或12月降至全年的最低值.1—6月  $E_{0}$  持续上升,6—11月  $E_{0}$  持续下降.冬小麦、夏玉米、棉花和花生的需水量都表现为减少趋势.需水量减少最多的是棉花,其次分别是小麦、花生和玉米.

近40年来,河南省内相对湿度、平均风速和日照时数呈降低趋势,而平均温度、最高温度和最低温度均呈不同程度的升高趋势.平均风速与主要作物需水量呈显著正相关关系.由于平均风速的降低幅度较大,从而在很大程度上抵消了其他因子变化造成的需水量增加,最终造成冬小麦、夏玉米、棉花和花生生育期需水量的减少.因此,平均风速的降低是导致河南省主要作物需水量减少的主要原因.

## 参考文献

### References

- [1] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis [M] // Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007: 236-336
- [2] 中国科学院学部. 关于气候变化对我国的影响与防灾减灾建议[J]. 中国科学院院刊, 2008, 23(3): 229-234  
Academic Divisions of the Chinese Academy of Sciences. Impacts of climate change on our country and the proposals for prevention against natural disasters[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2008, 23(3): 229-234
- [3] 信乃诠, 程延年. 未来气候变化对农业的影响及对策[J]. 中国农业通报, 1995, 11(3): 1-8  
XIN Naiquan, CHENG Yannian. Impacts of future climate change on agriculture and countermeasures[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 1995, 11(3): 1-8
- [4] 潘根兴, 高民, 胡国华, 等. 气候变化对中国农业生产

- 的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1698-1706
- PAN Genxing, GAO Min, HU Guohua, et al. Impacts of climate change on agricultural production of China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(9): 1698-1706
- [5] 张建云, 王国庆, 杨扬, 等. 气候变化对中国水安全的影响研究[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(5): 290-295
- ZHANG Jianyun, WANG Guoqing, YANG Yang, et al. The possible impacts of climate change on water security in China[J]. Advances in Climate Change Research, 2008, 4(5): 290-295
- [6] 马灵玲, 占车生, 唐伶俐, 等. 作物需水量研究进展的回顾与展望[J]. 干旱区地理, 2005, 28(4): 531-537
- MA Lingling, ZHAN Chesheng, TANG Lingli, et al. Review and prospect on the study progress in crop water requirements[J]. Arid Land Geography, 2005, 28(4): 531-537
- [7] 杨艺, 周继良, 吴明作. 河南省各地区主要作物生态需水研究[J]. 河南科学, 2008, 26(6): 676-680
- YANG Yi, ZHOU Jiliang, WU Mingzuo. Ecological water demand research on Henan province's main crop[J]. Henan Science, 2008, 26(6): 676-680
- [8] 千怀遂, 魏东岚. 气候对河南省小麦产量的影响及其变化研究[J]. 自然资源学报, 2000, 15(2): 149-154
- QIAN Huaisui, WEI Donglan. Impacts of climate on wheat yield and their changes in Henan province[J]. Journal of Natural Resources, 2000, 15(2): 149-154
- [9] 陈怀亮, 胡鹏, 张雪芬, 等. 农业气候资源多时间尺度分析: 以郑州市小麦玉米为例[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6): 814-821
- CHEN Huailiang, HU Peng, ZHANG Xuefen, et al. Multiple time scales analysis on agroclimate resources: Taking wheat and maize in Zhengzhou city as a example[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(6): 814-821
- [10] 中国农业百科全书编辑委员会. 中国农业百科全书: 农业气象卷[M]. 北京: 农业出版社, 1996
- Editorial Board of China's Agriculture Encyclopedia. China's agriculture encyclopedia: Agricultural meteorology volume[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996
- [11] Allen R G, Smith M, Perrier A, et al. An update for the definition of reference evapotranspiration[J]. ICID Bulletin, 1994, 43(2): 1-34
- [12] 崔读昌, 刘洪顺, 闵谨如. 中国主要农作物气候资源图集[M]. 北京: 气象出版社, 1984
- CUI Duchang, LIU Hongshun, MIN Jinru. Climate resource atlas of China's main crops[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1984
- [13] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements: FAO irrigation and drainage paper No. 56[M]. Rome: FAO, 1998
- [14] Allen R G, Smith M, Pereira L S, et al. An update for the calculation of reference evapotranspiration[J]. ICID Bulletin, 1994, 43(2): 35-92
- [15] 刘钰, Pereira L S, Teixeira J L, 等. 参照腾发量的新定义及计算方法对比[J]. 水利学报, 1997, 28(6): 27-33
- LIU Yu, Pereira L S, Teixeira J L, et al. Update definition and computation of reference evapotranspiration comparison with former method[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997, 28(6): 27-33
- [16] 刘钰, 汪林, 倪广恒, 等. 中国主要作物灌溉需水量空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 6-12
- LIU Yu, WANG Lin, NI Guangheng, et al. Spatial distribution characteristics of irrigation water requirement for main crops in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(12): 6-12
- [17] 罗玉峰, 彭世彰, 王卫光, 等. 气候变化对水稻灌溉需水量的影响: 以高邮灌区为例[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2009, 42(5): 609-613
- LUO Yufeng, PENG Shizhang, WANG Weiguang, et al. Impacts of climate change on irrigation water requirements of rice: A case study of Gaoyou irrigation district[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2009, 42(5): 609-613
- [18] 陈军武, 吴锦奎. 气候变化对黑河流域典型作物灌溉需水量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(3): 69-73
- CHEN Junwu, WU Jinkui. Impact of climate change on irrigation water requirement of typical crops in arid irrigation areas in China[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(3): 69-73
- [19] 张建平, 王春乙, 杨晓光, 等. 未来气候变化对中国东北三省玉米需水量的影响预测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 50-55
- ZHANG Jianping, WANG Chunyi, YANG Xiaoguang, et al. Impact forecast of future climate change on maize water requirement in three provinces of Northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(7): 50-55
- [20] Döll P. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: A global perspective[J]. Climatic Change, 2002, 54(3): 269-293
- [22] 刘宏谊, 马鹏里, 杨兴国, 等. 甘肃省主要农作物需水量时空变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 39-44
- LIU Hongyi, MA Pengli, YANG Xingguo, et al. Temporal and spatial analysis of the water requirements of major crops in Gansu province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(1): 39-44
- [22] 武永利, 刘文平, 马雅丽, 等. 山西冬小麦作物需水量近45年变化特征[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(16): 7380-7383
- WU Yongli, LIU Wenping, MA Yali, et al. Study on characteristics of winter wheat water requirements in 45 years in Shanxi[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(16): 7380-7383
- [23] 刘晓英, 李玉中, 郝卫平. 华北主要作物需水量近50年变化趋势及原因[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 155-159
- LIU Xiaoying, LI Yuzhong, HAO Weiping. Trend and causes of water requirement of main crops in North China in recent 50 years[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(10): 155-159

## Effect of climate change on main crop water requirements in Henan province during 1971—2010

ZHOU Yingping<sup>1,2</sup> HU Zhenghua<sup>1,2</sup> CUI Hailing<sup>2</sup> CHEN Shutao<sup>2</sup> SHI Likui<sup>1</sup>

1 Henan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou 450003

2 Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** To gain insight into climate change effects on main crop (wheat, corn, cotton, and peanut) water requirement of Henan province, crop water requirement were calculated according to the FAO Penman-Monteith equation. The climatic data of 12 meteorological stations from 1971 to 2010 were used to analyze the relationship between climate change and crop water requirement. The results showed that the crop water requirement was highest in June, and lowest in November or December. As for water requirement difference between the 4 crops, cotton demanded more water than wheat, which is followed by peanut, and the corn demanded least water in the 4 main crops. Crop water requirement had a tendency of decreasing from 1971 to 2001. The mean wind speed had a significantly positive influence on crop water requirement. The mean wind speed significantly decreased in the past 40 years, and resulted in the reduction of the water requirement of main crops.

**Key words** climate change; crop water requirement; meteorological factors; Henan province