



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.06.005

甄自强, 王景才, 徐蛟, 等. 淮河上中游流域日照时数时空分布特征[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(6): 33-38, 87. ZHEN Z Q, WANG J C, XU J, et al. Characteristic analysis of the temporal and spatial distribution of sunshine duration in the upper and middle reaches of Huaihe River Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(6): 33-38, 87. (in Chinese)

淮河上中游流域日照时数时空分布特征

甄自强^{1,2}, 王景才¹, 徐蛟³, 汪雨¹, 郭佳香¹

(1. 扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏扬州 225009; 2. 江苏省水文水资源勘测局南京分局, 南京 210008; 3. 江苏省水利工程建设局, 南京 210029)

摘要:为揭示淮河上中游流域日照时数时空变化特征及突变情况, 基于1960-2014年日照时数资料, 采用气候倾向率、Mann Kendall趋势与突变检验、滑动t检验、克里金插值等方法, 对流域日照时数的时空变化特征进行剖析。结果表明, 淮河上中游流域近55年来日照时数以20世纪80年代为界由多变寡, 其中年日照时数大约每10 a减少102.2 h, 四季日照时数的气候倾向率排序为夏[-48.8 h/(10a)]、冬[-29.3 h/(10a)]、秋[-19.7 h/(10a)]、春[-5.4 h/(10a)]。流域日照时数的减小趋势除春季不显著外, 年与夏、秋、冬三季的日照时数均呈现出显著的减少趋势。空间上, 流域北部的中间地带(商丘站附近)与西北部(宝丰、郑州站附近)的日照时数减小趋势较明显($Z < -2$), 减少幅度较大, 而东部(盱眙站除外)减少幅度则偏小。年与夏季日照时数的极显著突变年份为1980年, 年日照时数的弱显著突变年份为1984年。秋季、冬季的突变年份分别为1999年、1983年, 春季的突变年份在20世纪70年代内。研究成果可为淮河上中游流域的气候研究、农业生产等提供科学的依据。

关键词:日照时数; 趋势分析; 突变检验; 特征分析; 淮河上中游流域

中图分类号: P466 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2017)06-0033-06

Characteristic of the temporal and spatial distribution of sunshine duration in the upper and middle reaches of Huaihe River Basin

ZHEN Ziqiang^{1,2}, WANG Jingcai¹, XU Jiao³, WANG Yu¹, GUO Jiaxiang¹

(1. School of Hydraulic Energy and Power Engineering of Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

2. Nanjing Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210008, China;

3. Water Conservancy Project Construction Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract: In order to reveal the spatial-temporal variation characteristics of sunshine duration in the upper and middle reaches of Huaihe River Basin and determine the year of mutation, we adopted such methods as the climate tendency rate, Mann Kendall trend and mutation test, sliding t test, and Kriging interpolation, and analyzed the spatial-temporal variation characteristics of sunshine duration based on the data of sunshine duration from 1960 to 2014. The results indicated that the sunshine duration in the past 55 years decreased to a lower level in the 1980s; the annual sunshine duration decreased by about 102.2 h every 10 years; and the climate tendency rates of sunshine duration in the four seasons were as follows: summer (-48.8 h/(10a)), winter (-29.3 h/(10a)), autumn (-19.7 h/(10a)), and spring (-5.4 h/(10a)). The sunshine duration in a year and in all three seasons except spring showed a significant decreasing trend. Spatially, the decreasing trend of sunshine duration was more obvi

收稿日期: 2016-12-07 修回日期: 2017-07-10 网络出版时间: 2017-11-15

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20171115.0836.005.html>

基金项目: 江苏省高校自然科学研究面上资助经费项目(15KJB170019); 扬州大学科技创新培育基金项目(2015CXJ032); 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 江苏省水利动力工程重点实验室资助项目(K13019)

Funds: Natural Science Foundation for Colleges and Universities in Jiangsu Province (15KJB170019); Science and Technology Innovation Fund of Yangzhou University (2015CXJ032); A Project Funded by the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions; Open Project Program of Jiangsu Province Key Laboratory of Hydrodynamic Engineering (K13019)

作者简介: 甄自强(1991-), 男, 天津蓟州人, 主要从事水文统计学方面的研究。E-mail: 1542530358@qq.com

通讯作者: 王景才(1984-), 男, 河南南阳人, 讲师, 博士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: wangjingcai@yzu.edu.cn

ous and sharp in the middle of the northern basin (near Shangqiu station) and in the northwest (near Zhengzhou and Baofeng stations) ($Z < -2$), but the decrease was small in the east (except for Xuyi station). The highly significant mutation year of annual and summer sunshine durations was 1980, and the weakly significant mutation year of annual sunshine duration was 1984. The mutation years of autumn and winter were 1999 and 1983 respectively, and the mutation year of spring was in the 1970s. The research results are expected to provide scientific basis for the climate studies and agricultural production in the upper and middle reaches of Huaihe River Basin.

Key words: sunshine duration; trend analysis; test of mutation; characteristic analysis; upper and middle reaches of Huaihe River Basin

日照时数的变化情况对气候研究具有重要意义,其数量大小能够合理地表征太阳能的丰富程度^[1]。具体来讲,日照对水文要素具有间接影响;日照时数影响植物的光合作用,其决定着植物的生长发育尤其是农作物的产量与质量;日照还与异常气候现象的发生有关,如近年来出现的厄尔尼诺现象等^[2]。对气候因子时间序列的变化情况进行分析,借助统计学方法进行研究更加有效^[3]。近年来,国内很多学者运用各种统计学方法对日照时数时间序列进行了趋势及突变情况的分析。吴昊旻等^[4]通过 Morlet 连续小波变化、功率谱检验及 Mann-Kendall 检验方法,得出浙江省近 39 年日照时数的时间变化趋势、周期演变规律和突变点。赵娜等^[5]由线性趋势法与累计距平曲线方法分析出城市化影响下的北京地区日照时数变化趋势。王钊等^[6]利用日照时数距平与 5 年滑动平均曲线得到西安地区近 60 年的日照时数变化趋势,并计算出该城市内部各地区间的日照时数下降百分率的相关系数。张山清等^[7]通过线性倾向率与 Mann-Kendall 突变检测方法对新疆近 50 年 101 个站点的日照时数进行了突变年的讨论。王珂清^[8]通过线性倾向估计法对近 48 年淮河流域日照时数进行了研究,得出流域日照时数呈下降趋势且气溶胶为其减小的主要影响因素。

淮河流域跨越了秦岭淮南北分界线,近年来流域的区域性极端气候现象频发,日照时数作为流域的关键气候因子,对流域的气候变化情况具有重要的影响^[9-11]。此外,日照时数对光合作用至关重要,决定着植物的产出效益,直接影响当地农业经济的发展状况^[12-13]。本文利用趋势与突变检验方法对日照时数的时间变化情况进行分析,再通过 ArcGIS10.0 软件对研究区内各个站点进行空间插值分析,实现对淮河流域近 55 年来日照时数的时空变异性比较,以期了解淮河流域日照时数的时间变化特征及空间差异性,从而为研究区内季节及区域性的农业规划、极端气候分析等相关研究提供科学的参考。

1 材料及方法

1.1 研究区概况

淮河流域位于中国东部地区,流经湖北、河南、安徽、江苏、山东五大省份。气候上属于湿润气候与半湿润气候的过渡区域,日照充足,农业较为发达,作物主要包含稻作与旱作两类。研究区选取为淮河上中游流域,其中淮河上游以洪河口为界,淮河中游以洪泽湖出口处的三河闸为界^[14-15]。研究区多年平均日照时数约为 2 080 h,地形西高东低,高程多位于 20~140 m 之间^[16]。本文基于淮河上中游流域内的 19 个气象站点(图 1) 1960-2014 年的日照时数资料作为计算的基础数据(图 2)。

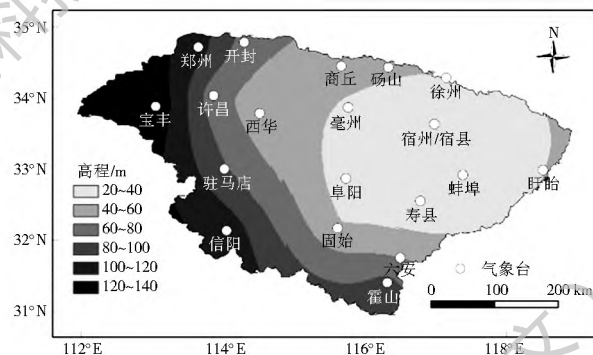


图 1 淮河上中游流域 19 个气象站点分布

Fig. 1 Distribution of 19 meteorological stations in the upper and middle reaches of Huaihe Basin

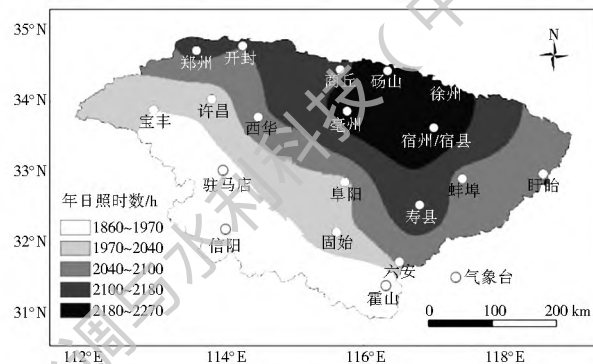


图 2 多年平均年日照时数空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of average annual sunshine duration

1.2 研究方法

1.2.1 气候倾向率

利用气候倾向率对日照时数进行变化趋势的分

析,确定趋势变化的方向及变化幅度的大小^[17-19]。

$$\hat{x}_t = a_1 \cdot t + a_0 \quad (1)$$

式中: \hat{x}_t 为日照时数的拟合值(h); $a_1 \times 10$ 为日照时数气候倾向率大小[h/(10a)]; a_0 为回归常数; t 为时间因子。

1.2.2 Mann-Kendall 趋势检验

对日照时数时间变化趋势的检验选用 Mann-Kendall 趋势检验方法,此法已经被证明为气象因子时间序列趋势检验中一种比较有效的检验途径。Mann-Kendall 趋势检验方法通过计算统计量 Z , 并得到显著性水平 α 下的统计值大小,进而可确定出日照时数的时间变化趋势。 Z 值为正代表增加趋势, Z 值为负代表减少趋势。 $|Z|$ 的大小表征了变化趋势的显著性程度:当 $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$, 认为在显著性水平为 α 的条件下拒绝原假设,日照时数有显著的变化趋势,否则认为变化趋势不显著。经与气候倾向率进行结合,二者互相验证,可实现对日照时数变化趋势情况的综合性分析^[20-22]。

1.2.3 突变检验

对气象因子的时间序列进行突变检验,一般可应用累计距平曲线、滑动 t 检验、Mann-Kendall 突变检验或信噪比方法等。为避免检验过程中人为干扰性的存在,研究优先采用 Mann-Kendall 突变检验法。Mann-Kendall 突变检验方法不受主观因素的影响,得到正逆统计量两条曲线,只需曲线交点处的统计量达到一定的显著度水平即可认为突变结果可信,研究中选取 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平作为突变点的界限进行判断^[3,5]。通过 Mann-Kendall 突变检验的年份可以确定为突变年,而未通过信度线检验的交点年份仅能考虑为可能突变点,此时仍需借助其他方法进行验证。为此本研究采用滑动 t 检验、累计距平曲线法结合 Mann-Kendall 方法进行日照时数突变年份的检验,即利用滑动 t 检验法验证 Mann-Kendall 突变检验未通过信度线的交点及累计距平曲线出现拐点处的可能突变点^[23-24]。

2 日照时数变化特征分析

2.1 年际变化特征

近 55 年淮河上中游流域的日照时数在时间上总体呈下降趋势。年日照时数最大值发生在 1966 年,最小值发生在 2003 年,峰谷差值 839.2 h, 占近 55 年日照时数的年均值的比例高达 40.4%。由表 1 可知,近 55 年研究区年日照时数的气候倾向率为 -102.2 h/(10a),说明每 10 a 日照时数减少量大约为 102.2 h。四季内夏季日照时数的减少幅度较大 [-48.8 h/(10a)], 其次为冬季与秋季 [-29.3 、

-19.7 h/(10a)], 春季较小 [-5.4 h/(10a)]。说明四季中夏季对年日照时数减少的贡献量较大,其次为冬季与秋季,而春季对年日照时数减少的贡献量较小。年、夏季与冬季的 Z 值均通过了 0.001 显著性水平检验,说明三者的日照时数减小趋势均表现为极显著的状态。秋季 Z 值通过 0.01 显著性水平检验,说明此季节的日照时数减小趋势为显著,而春季未通过 0.05 显著性水平检验,说明此季的日照时数变化趋势并不明显。这与王珂清^[8] 对近 50 年来淮河流域日照时数的变化趋势分析结果基本一致。

表 1 近 55 年淮河上中游流域日照时数趋势统计

统计期	气候倾向率/[h·(10a) ⁻¹]	Z 值
年	-102.2	-6.33***
春	-5.4	-0.94
夏	-48.8	-6.17***
秋	-19.7	-3.28**
冬	-29.3	-4.79***

注: * 表示 0.05 信度,弱显著;** 表示 0.01 信度,显著;*** 表示 0.001 信度,极显著。

2.2 年代际变化特征

如图 3 所示,从近 55 年内的日照时数年代际变化来看,近 55 年中,20 世纪 60 年代(年均值)达到最大值,为 2 335.3 h;20 世纪 80 年代之前的年日照时数为偏多阶段(距平为正),20 世纪 80 年代之后一般表现为距平为负的偏少阶段;21 世纪初出现最小值,为 1 867.4 h。从 20 世纪 60 年代以来,时间上随着年代的更替,日照时数年代均值表现为依次递减的趋势。以近 55 年内各年代每 10 a 的年均日照时数变化量作为年代日照时数的变化幅度,各个相邻年代间的变化幅度存在一定的差异,最大变幅发生于 20 世纪 70 年代到 80 年代的交替期,日照时数明显减少(减小量为 191.2 h);最小变幅为 20 世纪 80 年代到 90 年代的交替期,日照时数几乎未变动(减小量仅 4.2 h)。总体来看,近 55 年内淮河上中游流域日照时数年代(年均值)峰谷点的差值高达 467.9 h,约占年代均值的 22.2%。

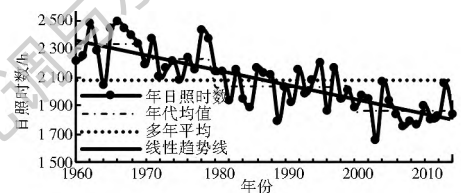


图 3 淮河上中游流域日照时数年代际变化

Fig.3 Interdecadal variation of sunshine duration in upper and middle reaches of Huaihe River Basin

2.3 空间变化特征

根据淮河上中游流域各个站点计算得到的日照时数气候倾向率与 Mann-Kendall 趋势检验的 Z 值, 通过 ArcGis 软件中的空间克里金插值功能可以实现研究区内的日照时数变化趋势的空间分析 (图 4)。

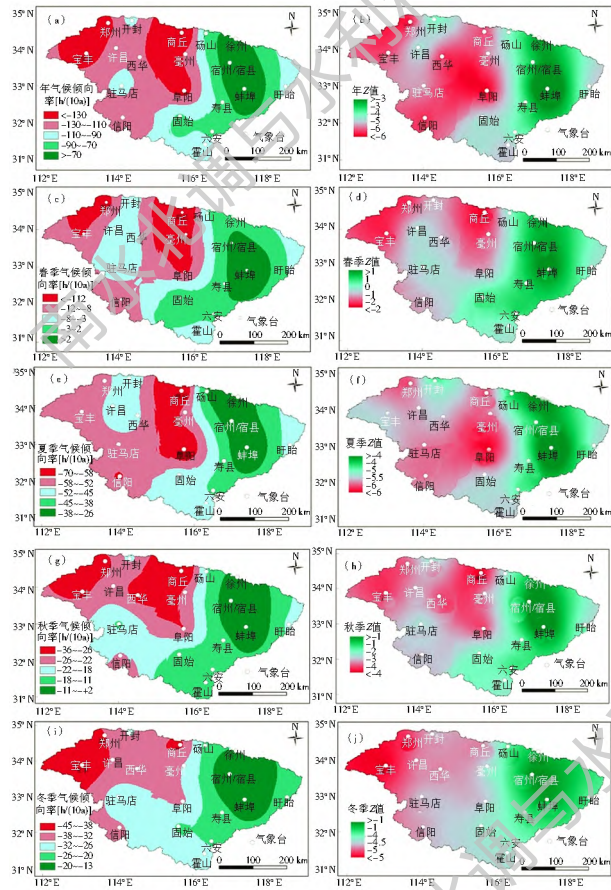


图 4 淮河上中游流域年与四季日照时数的气候倾向率及 Z 值空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of climate tendency rate and Z value of annual and seasonal sunshine durations in the upper and middle reaches of Huaihe River Basin

如图 4 所示, 从 Mann-Kendall 趋势检验结果来看, 流域内 19 个站点的年日照时数均存在减小趋势, 除蚌埠站 ($Z = -1.82$) 减小趋势不明显外, 其余站点 ($Z = -7 \sim -4.13$) 均有极显著的减小趋势。从气候倾向率来看, 年日照时数气候倾向率的空间变化范围为 $-171.7 \sim -28.2 \text{ h}/(10\text{a})$, 时间上年日照时数减小量在蚌埠、宿州两站出现较小值 [-28.2 、 $-48.7 \text{ h}/(10\text{a})$]; 减小量较大的为商丘站 [$-171.7 \text{ h}/(10\text{a})$], 其次为宝丰、阜阳、郑州、亳州站附近 [范围在 $-145.0 \sim -125.5 \text{ h}/(10\text{a})$]。

四季中, 春季日照时数仅在 4 个站点 (商丘、郑州、宝丰、亳州站) 具有显著的减小趋势 ($Z = -3.2 \sim -2.2$), 其余各站点的变化趋势均不显著 ($Z =$

$-2 \sim 2$)。其中有 6 个站点表现为不显著的增加趋势, 增幅较大的为蚌埠站 [$-12.4 \text{ h}/(10\text{a})$]; 另外 5 站增幅偏小, 大约每 10 a 仅增加 $0 \sim 3.5 \text{ h}$; 其它 9 个站点出现不显著的减小趋势且减小量也偏小 (大约每 10 a 仅增加 $2 \sim 25 \text{ h}$)。夏、秋、冬三季所有站点的日照时数在时间上均为减小趋势。其中, 夏季所有站点日照时数的减小趋势均为极显著 ($Z = -6.70 \sim -3.31$), 减小量大约每 10 a 减小 $27.0 \sim 69.3 \text{ h}$; 夏季期间, 蚌埠站的减小量较小 [$-27.0 \text{ h}/(10\text{a})$], 其次为徐州、宿州站 [-30.5 、 $-34.6 \text{ h}/(10\text{a})$]; 减小量较大的站为商丘站 [$-69.3 \text{ h}/(10\text{a})$], 其次为阜阳、郑州、宝丰、亳州站, 这与年日照时数变化趋势的空间分布情况较为类似。研究区内冬季日照时数的气候倾向率的变化范围为 $-47.0 \sim -11.4 \text{ h}/(10\text{a})$, 秋季日照时数的气候倾向率的变化范围为 $-35.6 \sim -2.2 \text{ h}/(10\text{a})$ 。冬季与秋季的减小趋势在宿州、蚌埠站附近不明显, 两个季节的日照时数每 10 a 减小量在这两站附近也较小, 而两个季节的日照时数每 10 a 减小量的较大值则出现在商丘、郑州, 西华、宝丰站附近。

总体来看, 年与四季日照时数的气候倾向率与 Z 值的空间大小分布情况较为一致。对日照时数空间变化特征的分析也再次验证了各个站点对年日照时数的变化贡献较大的季节为夏季, 较小的为春季。研究区内西部区域日照时数一般比东部区域日照时数递减的趋势更为明显。其中东部的蚌埠、宿州等站点附近对研究区日照时数的减小趋势贡献程度较小, 甚至这些站点春季的日照时数的变化对年日照时数的减少具有削弱作用, 但春季日照时数的增加趋势并不显著, 对年日照时数减小情况的削弱效果也不明显; 贡献程度较大的位置集中于研究区北部中间地区的商丘、亳州等站附近, 其次为西部的郑州、宝丰站附近。

3 突变检验

Mann-Kendall 突变检验结果如图 5 所示。对 Mann-Kendall 突变检验结果曲线未通过信度线的交点年份, 再利用滑动 t 检验进行验证, 并选择累计距平曲线拐点进行滑动 t 检验的突变计算, 计算结果如表 2 所示。近 55 年研究区的年日照时数突变检验中, 1986 年未通过滑动 t 检验, 1987 年通过了显著性水平为 0.05 的滑动 t 检验, 说明可将 1987 年作为研究区年日照时数的弱显著突变年份。由年日照时数累计距平曲线查到 1980 年可能为突变年, 而此年又通过了显著性水平为 0.001 的滑动 t 检

验,可以确定此年为年日照时数的极显著突变年份。春季日照时数的 $UF-UB$ 曲线在信度线内存在若干交点,可以认为 20 世纪 70 年代期间春季日照时数存在突变。夏季 $UF-UB$ 曲线交点未通过 $\alpha=0.05$ 的 Mann-Kendall 突变检验,但根据曲线交点处的滑动 t 检验结果仍能够确定夏季日照时数的突变年份为 1980 年,且与年日照时数突变相同,夏季在此年的突变结果也通过了 0.001 信度检验。比较 t 检验值绝对值的大小可以得到 1980 年研究区夏季日照时数较年日照时数相比突然减小的情况更为明显。进一步说明 1980 年附近可作为近 55 年研究区内年与夏季日照时数由偏多期明显转变为偏少期的分界点,这与何斌方^[25]对近 50 年来安徽省日照时数的分析结果基本相同。秋季 $UF-UB$ 曲线交点位于信度线以内,其统计量的值为 $-0.650 (> -1.960)$,确定突变年份为 1999 年。冬季 $UF-UB$ 曲线交点统计量的值为 $-1.956 (> -1.960)$,故冬季突变年份可确定为 1983 年。

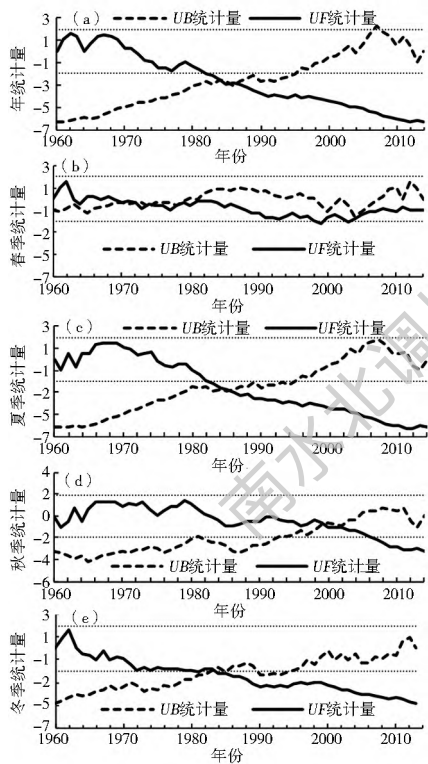


图5 淮河上中游流域日照时数 Mann-Kendall 突变检验

Fig. 5 Mutation test of sunshine duration by the method of Mann-Kendall in upper and middle reaches of Huaihe River Basin

4 结论

通过近 55 年淮河上中游流域日照时数的变化趋势及突变年份检测的计算结果,分析研究区日照时数的时空分布特征,得到的具体结论如下。

(1) 1960–2014 年内淮河上中游流域日照时数

表2 日照时数滑动 t 检验结果

检验期	年份	n_1	n_2	$ t $
年	1980	14	14	4.696***
	1984	14	14	2.668*
	1986	14	14	1.932
	1987	14	14	2.259
夏季	1980	14	14	4.993***
	1984	14	14	2.043

注: * 表示 0.05 信度, 弱显著; ** 表示 0.01 信度, 显著; *** 表示 0.001 信度, 极显著。

在 20 世纪 60 年代(年均值)较大,并向之后各个年代依次减小。全年、夏季、冬季的日照时数均有极显著的减小趋势,减小量分别为每 10 a 减少 102.2 h、48.8 h、29.34 h。四季中夏季日照时数对年日照时数减小的贡献较大,其次为冬季、秋季,春季日照时数对年日照时数减小的贡献较小。

(2) 淮河上中游流域的东部(除盱眙站)对整个研究区日照时数减小的贡献程度较小,而北部的中间地带(商丘站附近)与西北部(宝丰、郑州站附近)对整个淮河上中游流域的日照时数减小的贡献程度较大。

(3) 研究区内全年与夏季的日照时数的时空变化情况不仅具有较好的一致性,突变年份也有类似之处。由累计距平曲线结合滑动 t 检验方法,得到年与夏季日照时数的极显著突变年份均为 1980 年;根据 Mann-Kendall 突变检验,可以得到年日照时数的另一个弱显著突变年份为 1984 年。秋季、冬季的突变年份为 1999 年、1983 年,而春季的突变年份确定为 20 世纪 70 年代。

研究成果期待为淮河上中游流域的气候研究及农业发展等提供科学的参考。

参考文献(References):

- [1] 董旭光, 邱黎, 刘焕彬, 等. 山东省日照时数的气候变化特征及其影响因素[J]. 中国农业气象, 2013, 34(2): 138-145. (DONG X G, QIU C, LIU H B, et al. Sunshine duration variation and its influence factors in Shandong Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2013, 34(2): 138-145. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-6362.2013.02.003.
- [2] 宁和平, 敖泽建, 赵红岩. 甘南白龙江流域光照资源的气候变化特征[J]. 自然资源学报, 2014, 29(7): 1207-1215. (NING H P, AO Z J, ZHAO H Y. Climatic change of sunshine duration in the Bailong River Valley in Gannan from 1973 to 2012[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(7): 1207-1215. (in Chinese)) DOI: 10.11849/zrzyxb.2014.07.011.
- [3] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493. (FU C B, WANG Q. The definition and

- detection of the abrupt climatic change[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1992, 16(4): 482-493. (in Chinese) DOI: 10.3878/j.issn.1006-9895.1992.04.11.
- [4] 吴昊旻, 廖良清. 浙江省日照时数时空分布特征[J]. 中国农学通报, 2011, 27(32): 294-298. (WU H M, LIAO L Q. Spatial and temporal distribution of sunshine hours in Zhejiang Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(32): 294-298. (in Chinese))
- [5] 赵娜, 刘树华, 杜辉, 等. 城市化对北京地区日照时数和云量变化趋势的影响[J]. 气候与环境研究, 2012, 17(2): 233-243. (ZHAO N, LIU S H, DU H, et al. The effects of urbanization on sunshine duration and the trend of cloud cover amount variation in Beijing area[J]. Climatic and Environmental Research, 2012, 17(2): 233-243. (in Chinese) DOI: 10.3878/j.issn.1006-9585.2011.10140.
- [6] 王钊, 彭艳, 白爱娟, 等. 近 60 年西安日照时数变化特征及其影响因子分析[J]. 高原气象, 2012, 31(1): 185-192. (WANG Z, PENG Y, BAI A J, et al. Analysis on variation of sunshine duration in Xi'an in recent 60 years and its influencing factor[J]. Plateau Meteorology, 2012, 31(1): 185-192. (in Chinese))
- [7] 张山清, 普宗朝, 李景林. 近 50 年新疆日照时数时空变化分析[J]. 地理学报, 2013, 68(11): 1481-1492. (ZHANG S Q, PU Z C, LI Jing-lin. The spatial temporal variation of sunshine duration in Xinjiang during 1961-2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(11): 1481-1492. (in Chinese) DOI: 10.11821/dlxb201311004.
- [8] 王珂清. 近五十年淮河流域气候变化与未来情景预估[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2013: 21-32. (WANG K Q. Research on climatic change of Huaihe Basin in recent years and its projections in the future[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2013: 21-32. (in Chinese))
- [9] 周光裕. 淮河流域植被的过渡性特点及南北分界线的探讨[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1965, 3(1): 131-137. (ZHOU G Y. Transitional characteristics of vegetation and boundary between south and north in Huaihe drainage area[J]. Acta Phytotocologica et Geobotanica Sinica, 1965, 3(1): 131-137. (in Chinese))
- [10] 赵思雄, 孙建华. 近年来灾害天气机理和预测研究的进展[J]. 大气科学, 2013, 37(2): 297-312. (ZHAO S X, SUN J H. Study on mechanism and prediction of disastrous weathers during recent years[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 37(2): 297-312. (in Chinese) DOI: 10.3878/j.issn.1006-9895.2012.12317.
- [11] 高辉, 王永光. 2007 年海温和大气环流异常及对我国气候的影响[J]. 气象, 2008, 34(4): 108-112. (GAO H, WANG Y G. Sea surface temperature and the general circulation in 2007 and their influences on the climate of China[J]. Meteorological Monthly, 2008, 34(4): 108-112. (in Chinese) DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2008.04.014.
- [12] 许信旺, 孙满英, 方宇媛, 等. 安徽省气候变化对水稻生产的影响及应对[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1755-1793. (XU X W, SUN M Y, FANG Y Y, et al. Impact of climatic change on rice production and response strategies in Anhui Province[J]. Journal of Agror Environment Science, 2011, 30(9): 1755-1793. (in Chinese))
- [13] 苏坤慧, 延军平, 白晶, 等. 河南省境内淮南北气候变化的小麦适应度比较[J]. 地理科学进展, 2012, 31(1): 63-71. (SU K H, YAN J P, BAI J, et al. Comparative studies on degree of adaptation of wheat under climate change between areas south and north of Huaihe River in Henan Province[J]. Progress in Geography, 2012, 31(1): 63-71. (in Chinese) DOI: 10.11820/dlkxjz.2012.01.009.
- [14] 汪美华, 谢强, 王红亚. 未来气候变化对淮河流域径流深的影响[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 79-88. (WANG M H, XIE Q, WANG H Y. Impact of the climate change on runoff depth of the Huaihe drainage basin[J]. Geographical Research, 2003, 22(1): 79-88. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:1000-0585.2003.01.010.
- [15] 杨玉璋, 程至杰, 李为亚, 等. 淮河上、中游地区史前稻旱混作农业模式的形成、发展与区域差异[J]. 中国科学: 地球科学, 2016, 46(8): 1037-1050. (YANG Y Z, CHENG Z J, LI W Y, et al. The emergence development and regional differences of mixed farming of rice and millet in the upper and middle Huai River Valley, China[J]. Science China Earth Sciences, 2016, 46(8): 1037-1050. (in Chinese) DOI: 10.1007/s11430-015-5088-4.
- [16] 曹琦萍, 王传辉, 周建平, 等. 江淮流域夏半年日照时数气候特征及趋势分析[J]. 气象, 2014, 40(5): 548-553. (CAO Q P, WANG C H, ZHOU J P, et al. Climate characteristics and trend analysis of sunshine hours in summer half year over the Yangtze Huanhe Basin[J]. Meteorological Monthly, 2014, 40(5): 548-553. (in Chinese) DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.05.004.
- [17] 王健, 吕新, 王江丽, 等. 石河子市近 57 年积温变化趋势特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(6): 154-159. (WANG J, LYU X, WANG J L, et al. The variation tendency of accumulated temperature of Shihezi City in recent 57 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(6): 154-159. (in Chinese) DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2013.06.032.
- [18] 孙宇辉, 韦杰, 黄小燕. 近 50 年重庆市气候干湿变化时空特征[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(5): 11-17. (SUN Y H, WEI J, HUANG X Y. Spatial temporal characteristics of dry wet condition in Chongqing in the past five decades[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2016, 33(5): 11-17. (in Chinese) DOI: 10.11988/ckyyb.20150052.
- [19] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 气候变化背景下我国东北三省农业气候资源变化特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2199-2206. (LIU Z J, YANG X G, WANG W F, et al. Characteristics of agricultural climate resources in three provinces of Northeast China under global climate change[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(9): 2199-2206. (in Chinese) DOI: 10.13287/j.issn.1001-9332.2009.0362.
- [20] MANN H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1945, 13(3): 245-259.

(下转第 87 页)

- [14] 王海英, 武丹, 卞少伟, 等. 近五年引滦入津工程天津段水质评价研究[J]. 生态科学, 2014(3): 520-526. (WANG H Y, WU D, BIAN Shaowei, et al. Research of water quality evaluation for Tianjin section of Luanhe River diversion project in recent 5 years[J]. Ecological Science, 2014, 33(3): 520-526. DOI: 10.3969/j.issn.1008-8873.2014.03.019 (in Chinese))
- [15] 卿晓霞, 张会波, 周健, 等. 伏牛溪水污染治理效果的数值模拟研究[J]. 环境工程学报, 2015(1): 65-72. (QING X X, ZHANG H B, ZHOU J, et al. Numerical simulation research of water pollution control effect of Funiu River[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015(1): 65-72. (in Chinese))
- [16] 闫振广, 孟伟, 刘征涛, 等. 辽河流域氨氮水质基准与应急标准探讨[J]. 中国环境科学, 2011(11): 1829-1835. (YAN Z G, MENG W, LIU Z T, et al. Development of aquatic life criteria and last up standard for ammonia in Liao River basin[J]. China Environmental Science, 2011(11): 1829-1835. (in Chinese))
- [17] 王亚伟, 杜向群, 郁达伟, 等. 温榆河氨氮污染控制措施的效果模拟[J]. 环境科学学报, 2013(2): 479-486. (WANG Y W, DU X Q, YU D W, et al. Assessment of ammonia nitrogen pollution control in Wenyu River by QUAL2K simulation[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2013(2): 479-486. (in Chinese))
- [18] 王辉, 栾维新, 康敏捷. 辽河流域社会经济活动的COD污染负荷[J]. 地理研究, 2013(10): 1802-1813. (WANG H, LUAN W X, KANG M J. COD pollution load of social and economic activities in Liaohe River Basin, China[J]. Geographical Research, 2013(10): 1802-1813. DOI: 10.11821/dlyj201310004, (in Chinese))
- [19] 马超. 考虑景观要求的河间市中心城区坑塘群水体置换策略研究[J]. 中国农村水利水电, 2011(3): 13-16. (MA C. Study on water displacement strategy of pond group in central urban area of Hejian City considering landscape requirement [J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(3): 13-16. (in Chinese))

(上接第38页)

- [21] 康淑媛, 张勃, 郭玉刚, 等. 1959年至2008年石羊河流域日照时数时空变化特征[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 483-488. (KANG S Y, ZHANG B, GUO Y G, et al. Changes of sunshine duration over the Shiyang River Basin during the last 50 years[J]. Resources Science, 2011, 33(3): 483-488. (in Chinese))
- [22] 杨佳, 钱会, 高燕燕, 等. 西安市多年降水特征分析及降水量预测[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(3): 30-35. (YANG J, QIAN H, GAO Y Y, et al. Multi-year precipitation characteristics analysis and precipitation forecast of Xi'an city [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(3): 30-35. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdk.2016.03.006.
- [23] 刘义花, 汪青春, 王振宇, 等. 1971年至2007年青海省日照时数的时空分布特征[J]. 资源科学, 2011, 33(5): 1010-1016. (LIU Y H, WANG Q C, WANG Z Y, et al. Distribution characteristics of sunshine duration in Qinghai Province [J]. Resources Science, 2011, 33(5): 1010-1016. (in Chinese))
- [24] 张林梅, 苗运玲, 李健丽, 等. 新疆阿勒泰地区近50 a夏季极端降水事件变化特征[J]. 冰川冻土, 2015, 37(5): 1199-1208. (ZHANG L M, MIAO Y L, LI J L, et al. Variations of summer extreme precipitation events in Altay Prefecture, Xinjiang Region, from 1961 to 2010 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015, 37(5): 1199-1208. (in Chinese)) DOI: 10.7522/j.issn.1000-0240.2015.0134.
- [25] 何彬方, 冯妍, 苟尚培, 等. 安徽省50年日照时数的变化特征及影响因素[J]. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1275-1285. (HE B F, FENG Y, XU N S P, et al. Climatic change of sunshine duration and its influencing factors over Anhui Province during the last 50 years [J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(7): 1275-1285. (in Chinese)) DOI: 10.11849/zrzyxb.2009.07.015.