

气候变化背景下鲁西南地区农业 气候资源变化特征

李瑞英¹,任崇勇¹,张翠翠²,刘涛¹,江晓东³

(1. 山东省菏泽市气象局, 山东 菏泽 274000; 2. 山东省济宁市气象局, 山东 济宁 272000

3. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘 要: 根据鲁西南地区 1961—2010 气象资料, 应用气候倾向率和 Mann-Kendall 突变检测法, 分析了该地区春、夏、秋、冬四季及年际的光、热、水等主要农业气候资源变化特征。结果表明: 研究区年均气温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈上升趋势, 其气候倾向率分别为 $0.16^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $53.8(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})/10\text{a}$ 、 $83.5(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})/10\text{a}$, 其中冬季升温最为明显, 其次是春季, 并在 20 世纪 90 年代的中期发生突变, 无霜期以 $1.9\text{d}/10\text{a}$ 的速率延长, 表明自突变后热量资源处于丰富阶段; 光照资源呈极显著的减少趋势, 尤其以夏、秋、冬季的减少趋势最为显著, 光照资源在 20 世纪 80 年代的中期发生突变, 其中太阳辐射量和日照时数减少的倾向率分别为 $208.4\text{MJ}/(\text{m}^2\cdot 10\text{a})$ 、 $112.1\text{h}/10\text{a}$; 年降水量总体变化不明显, 呈略微增加趋势, 年际和季节间分布不均, 春季和秋季降水呈减少趋势, 夏季和冬季呈增加趋势, 年内降水分布不均, 暴雨日数增多。鲁西南地区总体的农业气候变化存在以“热量资源丰富, 光照资源欠缺、水资源不充足”为主要特点的暖干化趋势。

关键词: 农业气候资源; 变化特征; 趋势; 鲁西南

中图分类号: S162.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)06-0254-07

近年来对气候变化的研究十分活跃, 已成为人类社会最为关心的问题之一^[1]。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告指出, 最近 100 年(1906—2005 年)地表平均温度增加 0.74°C ($0.56^{\circ}\text{C} \sim 0.92^{\circ}\text{C}$)^[2]。近百年来我国气候也发生显著的变化, 与全球气温变化总趋势基本一致^[3-4]。气候变化与农业生产息息相关, 任何程度的气候变化都会引起农业气候资源的重新分配, 进而对农业生产产生重大影响。

鲁西南地区是我国重要的粮食、棉花、畜产品等农产品供给区, 该区大部分为典型的黄淮平原区, 北靠黄河, 气候资源丰富, 土壤肥沃, 主要作物为小麦、玉米、花生等, 一年两熟制。农业气候资源是自然资源中影响农业生产的最重要的组成部分之一, 它提供的光、热、水、空气等能量和物质, 对农业生产类型、种植制度、布局结构、生产潜力、发展远景以及农、林、牧产品的数量、质量和分布都起着决定性作用。在全球气候变化的大趋势下, 有关农业气候资源的变化已为学者所关注, 并在我国大部分地区开展了大量相关研究, 主要通过全年、四季或作物生长期内的平均气温、积温、日照时数、降水量和无霜期等指标从时间和空间尺度上反映农业气候资源的变

化特征^[5-11]。以上研究主要针对全国和某些省份的农业气候资源, 而对于鲁西南地区农业气候资源的研究鲜有报道。在此背景下, 研究应用该地区农业气候资源特点和规律性, 对于有效提高农业气候资源利用率、特别是降水资源的利用率, 确保农业可持续发展等具有重要的现实意义。因此选取研究区的气温、积温、无霜期、辐射、日照和降水等气候资源, 分析其变化趋势和特征, 对指导当地的农业生产及其可持续发展提供一定的科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本文所用资料来自于鲁西南 8 县 1 区气象局实测数据, 数据资料涵盖了 1961—2010 逐月平均气温($^{\circ}\text{C}$)、降水量(mm)、日照时数(h)、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)、日照百分率、日天文辐射(MJ/m^2)。

1.2 研究方法

1.2.1 气候倾向率 采用最小二乘法求气候要素长时间序列的变化趋势^[12], 建立 $\hat{X}$ 与时间 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$\hat{X}_i = a + bt_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

收稿日期: 2012-06-20

基金项目: 科技部公益性行业(气象)科研专项“超级稻超高产栽培气象保障技术研究”(201206045)

作者简介: 李瑞英(1981—), 女, 山东菏泽人, 硕士, 工程师, 研究方向为农业气象与气候变化。E-mail: lirycg@163.com。

式中, a 为回归常数; b 为回归系数, a 和 b 的最小二乘法估计为:

$$\begin{cases} a = \bar{x} - b\bar{t} \\ b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$, 以线性回归系数 a 来分析各气候资源的线性变化趋势, a 的 10 倍作为气候倾向率。

1.2.2 Mann - Kendall 法 Mann - Kendall 法是一种非参数统计检验方法, M - K 法既可用于检测序列的变化趋势, 也可用于检测气候突变, 而且它是目前检测气候突变的一种常用方法。它以气候序列平稳变化为前提, 并且序列是随机独立, 概率等同分布。与其他的检测方法相比, M - K 法的检测范围宽广、人为性少、定量化程度高, 因而得到广泛的应用^[12-13]。

对于一个具有 n 个样本量的时间序列 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 构造一个秩序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, 当 $x_j > x_i$ 时, 取 $r_i = 1$, 否则 $r_i = 0 (j = 1, 2, 3, \dots, i)$ 。

在时间序列随机独立的假定下, 定义统计量

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{Var(S_k)}} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

其中, $UF_1 = 0$, $E(S_k)$, $Var(S_k)$ 是累计数的均值和方差, 所有统计量 UF_k 组成一条曲线 UF ; 再把时间序列逆序 $x_n, x_{n-1}, \dots, x_1$, 重复上述过程, 得到曲线 UB 。给定显著性水平 α , 得到 U_α 两条临界值线, 若 $UF_k > U_\alpha$ 则表明序列存在明显的趋势变化, 如果曲

线 UF 和 UB 在两条临界线之间出现交点, 那么交点对应的的时间就是突变开始的时间。

1.2.3 太阳辐射的计算 太阳辐射的计算采用王建源文中^[14]的计算方法, 其中各月的经验系数 a 和 b 采用的是鲁南地区莒县辐射站的系数, 具体计算方法见参考文献^[15-18]。

2 结果与分析

2.1 热量资源

热量是农作物生长发育的重要条件, 是衡量农业气候条件的主要指标, 具体到实际生产中, 就是无霜冻期的长短、生长季的总热量和温度水平等。

2.1.1 年平均气温 鲁西南地区 1961—2010 年 50 年的平均气温为 14.0℃, 最高气温 14.9℃, 最低气温 12.9℃。由图 1 可以看出, 近 50 年来年平均气温呈上升趋势, 且上升趋势十分明显 ($R = 0.46$, 通过了 0.01 水平的显著检验), 平均以 0.16℃/10a 的速率增加, 低于最近 50 年中国年平均气温的增加速率 (0.22℃/10a)^[19]。从 M - K 突变检测中 UF 和 UB 曲线的交点位置确定 (见图 2), 发生突变的时间点是 1995 年。气候变暖后 (1995—2010 年) 与变暖前 (1961—1994 年) 两时段年平均气温差值为 0.6℃。 UF 曲线在 21 世纪初期开始超过了 0.001 显著性水平 ($|U_{0.001}| = 2.56$) 的临界值, 表明升温趋势达到了极显著。

从季节上看 (见表 1), 冬季的升温最为明显, 通过了 0.01 水平的显著性检验, 平均以 0.42℃/10a 的速率增加, 春季升温通过了 0.05 水平的显著性检验, 平均以 0.20℃/10a 的速率增加, 秋季增温趋势未达到 0.05 的显著水平, 而夏季气温则呈现下降的趋势, 由此看来, 年平均气温的增加主要是冬春季气温增加的结果。

表 1 光、热、水资源的季节及年变化率

Table 1 The annual and seasonal changing rate of light, heat and water

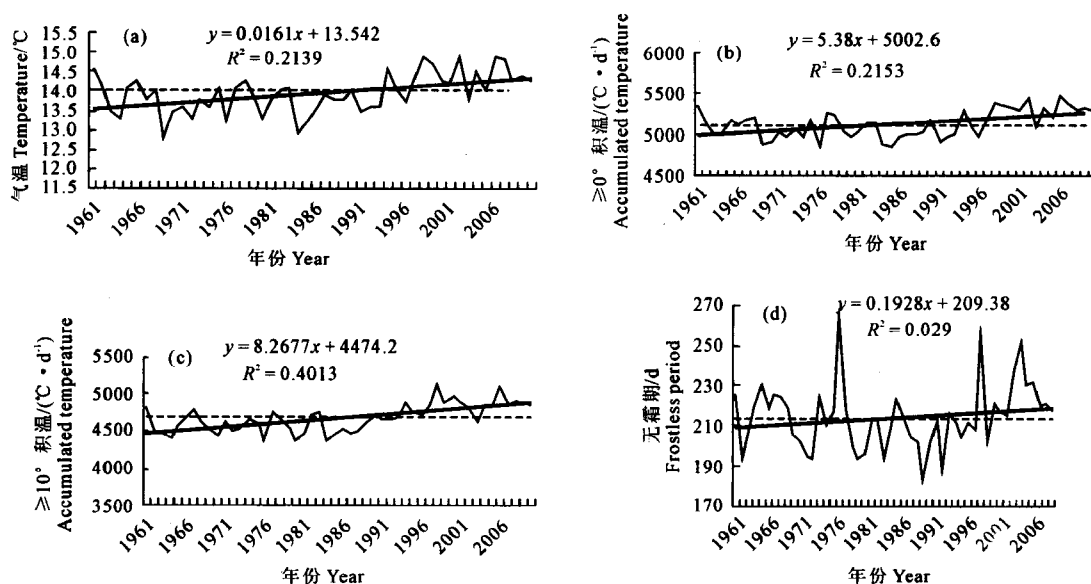
气象因子 Meteorological factors	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	年 Annual
气温 Temperature/(℃·10a ⁻¹)	0.20*	-0.08	0.12	0.42**	0.16
降水 Precipitation/(mm·10a ⁻¹)	0.61	0.17	3.45	1.69	2.99
太阳辐射量 Solar radiation/(MJ·m ⁻² ·10a ⁻¹)	-2.37	-30.85**	-17.24**	-19.00**	208.39**
日照 Sunshine/(h·10a ⁻¹)	12.94*	53.66**	23.64**	30.37**	112.05**

注: *, ** 分别表示通过 0.05 和 0.01 水平的显著性检验。

Note: * and ** mean significance at 0.05 and 0.01 levels respectively.

2.1.2 $\geq 0^\circ\text{C}$ 、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温 作为热量因子, 活动积温是衡量一个地区农业热量资源的重要指标。在农业上通常用 $\geq 0^\circ\text{C}$ 活动积温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温来

表示某地区农业热量资源状况^[20]。对鲁西南地区近 50 年的 $\geq 0^\circ\text{C}$ 活动积温的分析结果显示 (见图 1), 其年际变化与年均气温变化趋势一致, 整体呈显

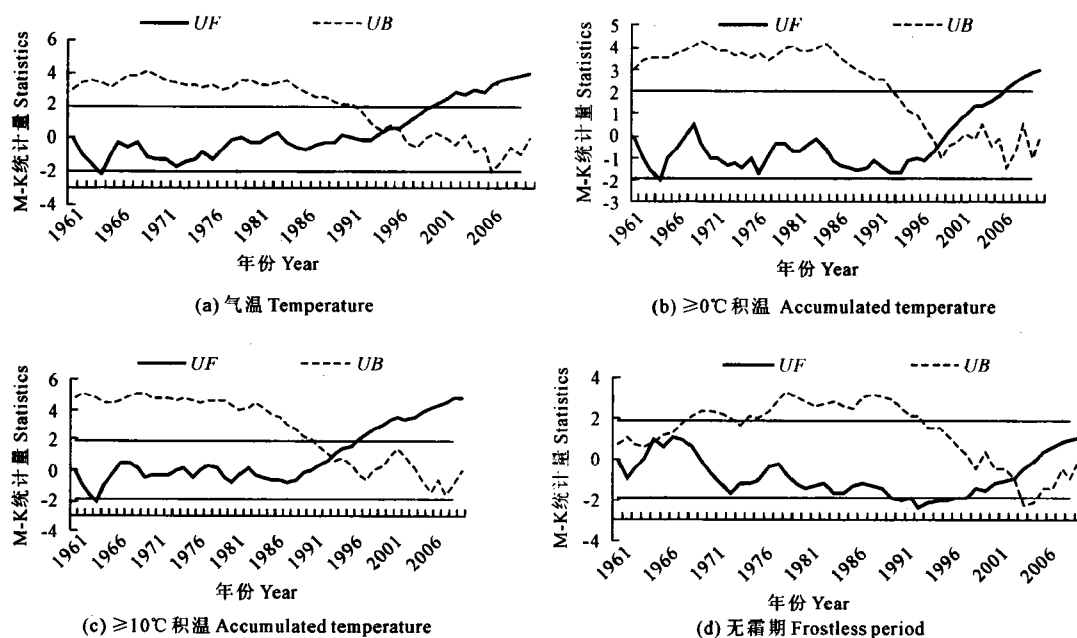


注:实直线为线性趋势线,虚直线为50年平均值线。

Note: The real straight line is liner trend line, while the dotted straight line is the line of mean annual value in recent 50 years.

图 1 1961—2010 年鲁西南地区热量资源的变化趋势

Fig.1 The change trends of heat resources in recent 50 years



注:直线为95%临界值线,临界值 $|u_{0.05}| = 1.96$ 。Note: The straight line is 95% line, and the critical value $|u_{0.05}| = 1.96$.

图 2 1961—2010 年鲁西南地区热量资源的 M-K 突变检测

Fig.2 M-K break detector of heat resources in recent 50 years

著增加趋势(通过了 0.01 水平的显著检验),增加速率为 $53.8(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})/10\text{a}$,多年平均值为 $5\,139.8(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$ 。由 M-K 突变检测结果显示(见图 2), $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温变化的突变点为 1997 年,1961—1996 年为热量资源比较贫乏阶段,此阶段的积温平均值为 $5\,066.4(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$,比多年平均值少 $73.4(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$;1997—2010 年为热量资源丰富阶段,此阶段的平均值为 $5\,328.6$

$(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$,比多年的平均值多 $188.8(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$,增加速率为 $14.5(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})/10\text{a}$,热量资源十分充足。

1961—2010 年近 50 年来 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温也呈上升趋势(见图 1),但未通过 0.05 水平的显著性检验,增加速率为 $83.5(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})/10\text{a}$,多年的平均值为 $4\,681.5(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$,1994 年是 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温的突变点,突变前 1961—1993 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温偏少,这

个阶段的平均值为 $4\,579.2\text{ (}^\circ\text{C}\cdot\text{d)}$, 比多年的平均值少 $10.23\text{ (}^\circ\text{C}\cdot\text{d)}$, 属于热量资源偏少阶段; 突变后 1994—2010 年的 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温的平均值为 $4\,873.0\text{ (}^\circ\text{C}\cdot\text{d)}$, 比多年平均值多 $191.5\text{ (}^\circ\text{C}\cdot\text{d)}$, 属热量资源比较丰富阶段。

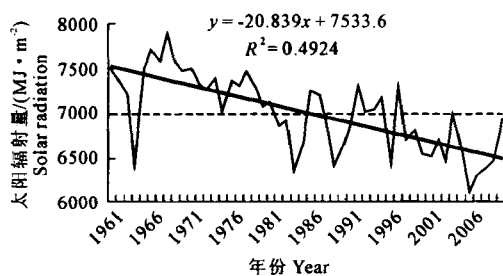
2.1.3 无霜期变化 无霜期长短在农业上是个很重要的热量指标, 由于每年的气候情况不全相同, 出现初霜和终霜的日期也就有早有晚, 每年的无霜期也就不一致。鲁西南地区近 50 年无霜期为 183 ~ 265 d, 无霜期以 $1.9\text{ d}/10\text{a}$ 的速率延长。初霜日出现在 10 月 9 日到 11 月 6 日, 早晚相差 28 d, 平均初霜日在 10 月 31 日, 初霜日以 $1.6\text{ d}/10\text{a}$ 的速率延迟。终霜日出现在 2 月 16 日到 4 月 25 日, 早晚相差 68 d, 平均终霜日在 3 月 28 日, 终霜日以 $0.8\text{ d}/10\text{a}$ 的速率提前。就总体的平均状况来说, 初霜日越来越晚, 终霜日越来越早, 总的无霜期有增加的趋势, 这与王建源研究的山东省无霜期动态变化的趋势一致^[21]。无霜期分别在 1965 年和 2003 年发生突变, 自 1965—2002 年, 无霜期呈减少的趋势, 在 2003 年突变后开始呈现增加的趋势。

2.2 光照资源

2.2.1 太阳辐射量 鲁西南地区太阳辐射量平均为 $7\,002.2\text{ MJ}/\text{m}^2$, 1961—2010 年太阳辐射呈极显著减少趋势 ($R = 0.7$, 通过了 0.01 水平的显著检验), 减少速率为 $208.4\text{ MJ}/(\text{m}^2\cdot 10\text{a})$ 。年内总辐射分布不均, 最大值为 $7\,889.0\text{ MJ}/\text{m}^2$ (1968 年), 最小值为

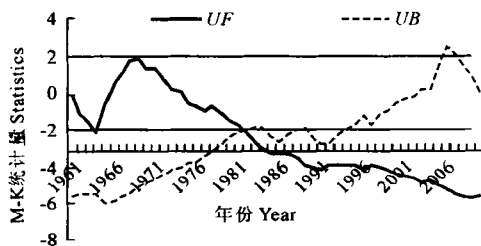
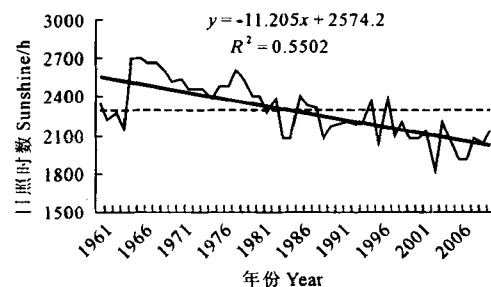
$6\,110.4\text{ MJ}/\text{m}^2$ (2006 年)。季节间辐射量由多到少的顺序依次为夏季、春季、秋季和冬季, 其中以夏季的 6 月份最多, 冬季的 12 月份最少。四季太阳辐射量的减少速率分别为 2.37 、 30.85 、 $17.24\text{ MJ}/(\text{m}^2\cdot 10\text{a})$ 和 $19.0\text{ MJ}/(\text{m}^2\cdot 10\text{a})$ (见表 1)。其中春季的减少趋势未通过 0.05 水平的显著性检验, 夏季、秋季和冬季的减少趋势均通过了 0.01 水平的显著性检验。根据 UF 和 UB 曲线的交点位置可知, 太阳辐射量从 1982 年开始突变的, 并且自 1984 年后, UF 曲线开始超过了 0.001 显著性水平 ($|U_{0.001}| = 2.56$) 的临界值, 表明减少趋势达到了极显著。

2.2.2 日照时数 从鲁西南地区 50 年来日照时数的分析结果来看 (见图 3), 日照时数同太阳辐射量的变化趋势一致, 均呈现极显著的减少趋势 ($R = 0.74$, 通过了 0.01 水平的显著检验), 减少速率为 $112.1\text{ h}/10\text{a}$ 。由表 1 可知, 春季的减少趋势通过了 0.05 水平的显著性检验, 夏季、秋季和冬季的减少趋势均通过了 0.01 水平的显著性检验。四季日照时数减少的速率分别为 $12.9\text{ h}/10\text{a}$ 、 $53.7\text{ h}/10\text{a}$ 、 $23.6\text{ h}/10\text{a}$ 和 $30.4\text{ h}/10\text{a}$ 。年内日照时数夏、冬季大, 春、秋季小。日照时数极大值为 $2\,695.0\text{ h}$ (1965 年), 极小值为 $1\,815.2\text{ h}$ (2003 年), 两者相差 879.8 h 。根据 UF 和 UB 曲线的交点位置, 确定 20 世纪 80 年代中期以来的减少趋势是一突变现象, 具体从 1985 年开始减少趋势达到极显著。

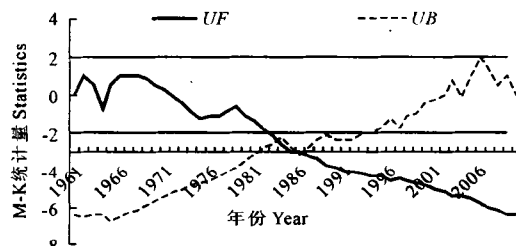


注: 实直线为线性趋势线, 虚直线为 50 年平均值线。

Note: The real straight line is liner trend line, while the dotted straight line is the line of mean annual value in recent 50 years.



(a) 太阳辐射量 Solar radiation



(b) 日照时数 Sunshine

注: 直线为 95% 临界值线, 临界值 $|u_{0.05}| = 1.96$ 。Note: The straight line is 95% line, and the critical value $|u_{0.05}| = 1.96$.

图 3 1961—2010 年鲁西南地区光照资源的变化趋势及 M-K 突变检测

Fig. 3 The change trends and M-K break detector of light resources in recent 50 years

2.3 水分资源

2.3.1 降水量 一个地区水热资源配置好坏与农业生产丰歉关系密切。1961—2010 年年降水量变化趋势不显著(未通过 0.05 水平的显著性检验),呈微弱的增长趋势,年际间变化较大,50 年来的平均降水量为 639.5 mm。相邻年份间降水量差异大,其中 2002 年和 2003 年相差 604.7 mm,为相邻年份相差的最大值。50 年来年降水量极大值出现在 2003 年,为 1 004.9 mm,极小值出现在 1966 年,为 377.1 mm,两者极差为 627.8 mm。进一步分析可知,近 50 年中相对多雨年主要在 1963、1964、1967、1971、1984、1992、2003—2005 年,共 9 年;相对少雨年主要在 1966、1968、1981、1986、1988、1997、2002 年,共 7 年,正常年有 34 年。从 UF 曲线可见,自 20 世纪 70 年代到 20 世纪末降水有明显的减少趋势, UF 和 UB 曲线在 1963、1965、2003 和 2005 年存在明显的交点,说明 1965 年后降水量一直减少,处于少雨期,直到 2003 年后降水量开始增加,转入了多雨期。

春季、秋季降水呈减少趋势,夏季和冬季呈增加

的趋势,其减少和增加趋势均不显著。春季、秋季每 10a 分别减少 0.6 mm、3.5 mm,夏季和冬季每 10a 均增加 1.7 mm。

2.3.2 暴雨及洪涝 鲁西南地区近 50 年暴雨日数为 125 d(日降水量 ≥ 50 mm),年平均暴雨日为 2.5 d。其中 1984 年暴雨日数为 7 d,是近 50 年中的最大值,近 50 年中有 7 年未出现暴雨,占到总年数的 14%。从总的变化趋势上看(见图 3),暴雨日数有增加的趋势,但增加趋势不显著,增加速率为 0.02 d/10a。大暴雨将给农业生产带来更大的损失,鲁西南地区近 50 年大暴雨日数为 15 d(日降水量 ≥ 100 mm),年平均暴雨日为 0.3 d。暴雨主要出现在 6—9 月,占到总暴雨日数的 88.8%,其中以 7 月份为最多,其次为 8 月份,7、8 月份出现的暴雨分别占全年暴雨日数的 33.6%和 32.8%。在研究时段的 50 年中,1、2、11 和 12 月四个月份未出现暴雨。由于各年间暴雨日数的变化波动比较小,因此在其 $M-K$ 的突变分析中(见图 4)没有突变点,说明暴雨日数不存在突变现象。

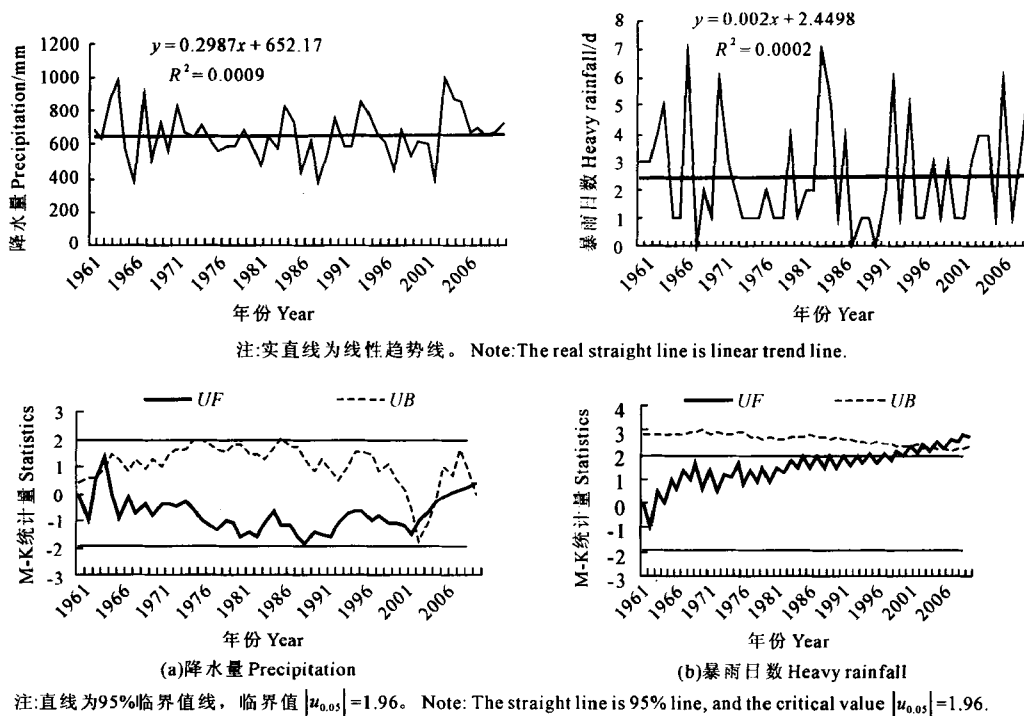


图 4 1961—2010 年鲁西南地区水分资源的变化趋势及 $M-K$ 突变检测

Fig.4 The change trends and $M-K$ break detector of water resources in recent 50 years

一定程度的降水对农作物的生长发育极其有利,但过分集中的连续降水将造成灾害。如果降水在季节分布不均,将造成季节性的洪涝灾害,如 1998 年的春季降水量达 239.6 mm,比历年(1961—2010 年,下同)平均(101.2 mm)的 2 倍还多 37.2

mm,1995 年夏季降水量达 566 mm(历年平均 341.5 mm),1996、1999 年的秋季降水量分别达到 209.4 mm 和 229.4 mm(历年平均 121.8 mm),这种季节性的洪涝致使田间积水,均对当季的农作物带来严重损失。

3 结论与讨论

1) 鲁西南地区年均气温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和无霜期呈增加趋势,年均气温、积温突变的时间点几乎一致,均在20世纪90年代的中期发生突变,无霜期则在1965和2003年发生突变。春季和冬季的增温较为明显,气温的增加对农业的影响有利有弊,一方面,冬季热量的增加有利于越冬作物群体分蘖的发展^[22],发育期提前,另一方面,冬季温度升高,作物群体的抗逆性能下降,发育期提前将导致作物受冻害的气候风险增大^[23],而春季气温变化不稳定,如冬末春初遇冷空气侵袭,作物极易受到低温伤害的影响。

2) 太阳辐射量和日照时数均呈现极显著的减少趋势,减少的倾向率分别为 $208.4 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{a})$ 、 $112.1 \text{ h}/10\text{a}$,均在20世纪80年代初期发生突变。在季节变化上,辐射量以夏季、春季、秋季和冬季次序依次减少,日照时数夏冬季大,春秋季小。总体上光能资源的减少主要还是表现在夏季的欠缺,也将使作物的光合作用减弱,影响干物质的积累,最终导致产量的降低。

3) 降水量的变化趋势不明显,但年际间分布不均变化较大,发生时旱时涝现象。2003年以前降水量相对较少,水资源不足,2003年以后降水有所增加。平均每年的暴雨日数为2.5 d,暴雨日数有微弱的增加趋势。降水在春季、秋季降水呈减少趋势,夏季和冬季呈增加的趋势。

4) 气候变化使热量资源增加,尤其是20世纪90年代以后热量资源极其丰富,有利于农作物的生长,为干物质积累、产量形成提供了丰富的热量条件。光照资源减少不利于有机物质的积累,影响农作物的产量和品质。水资源总体上变化不明显,但温度升高导致水分蒸发量加剧,总的来说研究区水分欠缺,制约农业生产。因此应合理利用气候资源,调整作物布局,适时灌溉,加强气候变化影响评估工作,积极应对气候变化对农业生产带来的影响。

参考文献:

- [1] Yu P S, Yang T C, Wu C K. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan[J]. J Hydrology, 2002, 260: 161-175.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report[R]. Oslo: Intergov-

ernmental Panel on Climate Change, 2007.

- [3] 王绍武,龚道溢.对气候变暖问题争议的分析[J].地理研究, 2001, 20(2): 153-160.
- [4] 丁一汇,任国玉,石广玉,等.气候变化国家评估报告(1):中国气候变化的历史和未来趋势[J].气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-4.
- [5] 孙杨,张雪芹,郑度.气候变暖对西北干旱区农业气候资源的影响[J].自然资源学报, 2010, 25(7): 1153-1162.
- [6] 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.
- [7] 李军,陈惠,陈艳春,等.华东地区热量资源的变化特征、趋势预估及农业适应对策[J].生态学杂志, 2009, 28(10): 2069-2075.
- [8] 周伟东,朱洁华,王艳琴,等.上海地区百年农业气候资源变化特征[J].资源科学, 2008, 30(5): 642-647.
- [9] 纪瑞鹏,张玉书,冯锐,等.辽宁省农业气候资源变化特征分析[J].资源科学, 2007, 29(2): 74-82.
- [10] 周伟东,朱洁华,李军,等.华东地区热量资源的气候变化特征[J].资源科学, 2009, 31(3): 472-478.
- [11] 张戈丽,欧阳华,周才平,等.近50年来气候变化对西藏“两江两河”地区农业气候热量资源的影响[J].资源科学, 2010, 32(10): 1943-1954.
- [12] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社, 1999: 69-72.
- [13] 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.
- [14] 王建源,冯建设,袁爱民.山东省太阳辐射的计算及其分布[J].气象科技, 2006, 34(1): 98-101.
- [15] 高国栋,缪启龙,王安宇,等.气候学教程[M].北京:气象出版社, 1996: 31-32.
- [16] 杜尧东,毛慧琴,刘爱君,等.广东省太阳总辐射的气候学计算及其分布特征[J].资源科学, 2003, 25(6): 66-67.
- [17] 张雪芬,陈东,付建祥,等.河南省近40年太阳辐射变化规律及其成因探讨[J].气象, 1999, 25(3): 21-25.
- [18] 刘钰,Preira L S, Teixeira J L,等.参照蒸发量的新定义及计算方法对比[J].水利学报, 1997, (6): 27-33.
- [19] 苏剑勤,程树林,郭迎春.河北气候[M].北京:气象出版社, 1996: 43-49.
- [20] 缪启龙,丁园圆,王勇,等.气候变暖对中国热量资源分布的影响分析[J].自然资源学报, 2009, 24(5): 934-944.
- [21] 王建源,赵红,胡桂芳.基于GIS的山东省无霜期时空动态变化特征[J].中国农学通报, 2011, 27(6): 301-307.
- [22] 周伟东,朱洁华,王艳琴,等.上海地区百年农业气候资源变化特征[J].资源科学, 2008, 30(5): 642-647.
- [23] 郭海英,赵建萍,索安宁,等.陇东黄土高原农业物候对全球气候变化的响应[J].自然资源学报, 2006, 21(4): 608-614.

Change characteristics of agricultural climate resources under the background of climate change in Southwestern Shandong Province

LI Rui-ying¹, REN Chong-yong¹, ZHANG Cui-cui², LIU Tao¹, JIANG Xiao-dong³

(1. Heze Municipal Bureau of Meteorology, Heze, Shandong 274000, China;

2. Jining Municipal Bureau of Meteorology, Jining, Shandong 272000, China;

3. Key Laboratory of Agrometeorology of Jiangsu Province, College of Applied Meteorology of Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: Based on the meteorological data from 1961—2010 in Southwestern Shandong Province, by using climatic trend rate and the Mann – Kendall break detector method, analysis was made of the variation trends of regional main agricultural climate resources of the four seasons and the annual light, heat and water and so on. The results showed that the annual average temperature, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ and $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated all had increasing tendency, with the tendency ratios of climate were $0.16^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $53.8(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})/10\text{a}$, $83.5(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})/10\text{a}$ respectively, and this increase was most distinct during winter while spring secondly, abrupt changes occurred in the middle of 1990s, the frostless period was prolonged by $1.9\text{d}/10\text{a}$, all over showed that the heat resources became rich after abrupt change; the light resources had very significant decreasing trend, especially the most remarkable during summer, autumn and winter, and the light resources had abrupt changed at the middle of 1980s, while the solar radiation and sunshine hours decreased by $208.4\text{ MJ}/(\text{m}^2\cdot 10\text{a})$ and $112.1\text{ h}/10\text{a}$ respectively; the annual precipitation had no obvious change, with a little increase, and it had uneven distribution in inter-annual and each season every year, while the days of heavy rainfall increased, the water decreased during spring and autumn while increased during summer and winter. The whole study area had warming and drying trend while the main characteristics were rich heat resources, deficiency light resources and insufficient water resources.

Keywords: agricultural climatic resources; change characteristics; trend; Southwestern Shandong Province;

(上接第 246 页)

Analysis of variation characteristics of reference crop evapotranspiration in important water source supply areas of the Yellow River

WANG Zhi-gui^{1,2}, WANG Su-ping¹, WANG Jian-bing², ZHANG Sheng-zhi²

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Gannan Meteorological Bureau, Hezuo, Gansu 747000, China)

Abstract: Because of natural and human factors, in recent years the grassland ecology of the upper reaches of the Yellow River was badly damaged by grassland degradation, desertification, and even some places the phenomenon such as water resources exhausted. Reference crop evapo-transpiration amount (ET_0) changes and have great influence on the water resources and ecological status, so the pastoral areas of Gannan ET_0 change characteristics are analyzed, and further research is carried out on whether the effect of plateau meteorological factors is significant on ET_0 of the pastoral areas. The meteorological data from 4 observatory stations in Gannan pastoral areas in 1971—2010 years are used to calculate ET_0 value of pastoral area from month to month with Penman-Monteith formula. Through statistical analysis, correlation analysis, small affected Mann-Kendall method, it is found that interannual variability of ET_0 in Gannan pastoral areas increases year by year, rising to $8.8 \sim 19.5\text{ mm}/10\text{a}$; it shows a obvious 10-year cycle before 1985 while a 5-year cycle from 2000—2010; and it appears a faster rise in the recent 20 years since the 1990s, and even a sudden increase after 1996. The ET_0 of pastoral areas in summer is the largest and rises fastest year after year; while it in winter is the minimum and rises slowest year by year. The uneven spatial distribution of ET_0 in pastoral areas is related not only to the complexity of local special plateau topography, but also to the difference of main meteorological factors influencing the amount of evapo-transpiration.

Keywords: reference crop evapotranspiration (ET_0); variation characteristic; Gannan pastoral area