

# 1949—2016 年我国粮食主产区旱灾变化趋势分析

田志会 李晓雪

(北京农学院 园林学院,北京 102206)

**摘要** 采用趋势线法、Mann-Kendall(M-K)趋势检验法及 Mann-Kendall(M-K)突变检验法对 1949—2016 年我国粮食主产区旱灾变化趋势进行分析,以期为降低粮食主产区旱灾风险及灾害损失的措施制定提供理论依据。结果表明:1)除江苏省外,干旱发生率均高于 60%,干旱受灾率和成灾率的变异系数均在 50%以上。2)东北地区各省干旱受灾率和成灾率均呈现增加趋势且通过 M-K 趋势检验,增加趋势显著;长江流域的湖北和四川省干旱受灾率呈增加趋势,江西和湖南省干旱受灾率呈减少趋势,但均未通过 M-K 趋势检验,变化趋势不显著;上述长江流域四省干旱成灾率均呈增加趋势,但只有湖北和四川省通过 M-K 趋势检验,增加趋势显著;黄淮海地区除江苏省干旱受灾率呈微弱线性增加趋势外,其他各省干旱受灾率均呈减少趋势,但只有安徽省通过 M-K 趋势检验,表现出显著的减少趋势;黄淮海五省成灾率均呈增加趋势,但只有河北和江苏省通过 M-K 趋势检验,增加趋势显著。3) M-K 突变检验结果表明,安徽省旱灾受灾率变化突变点为 2002 年,之后呈减少趋势;东北三省及内蒙古自治区干旱受灾率变化突变点分别为 1977、1970、1983 和 1977 年,之后干旱受灾率呈增加趋势;各省区干旱成灾率突变点如下:东北地区的黑龙江、吉林和辽宁省及内蒙古自治区分别为 1988、1977、1981 和 1984 年,黄淮海地区的河北和江苏省分别为 1961 和 1978 年,长江中下游地区的湖北和四川省分别为 1986 和 1975 年,各省区干旱成灾率在突变点之后均呈增加趋势。综上,粮食主产区干旱灾害发生率普遍较高且年际变化大,东北地区旱灾影响范围、规模以及致灾程度均呈显著增加趋势;黄淮海地区的河北和江苏省以及长江中下游地区的湖北和四川省虽然干旱影响范围和规模没有表现出显著的变化趋势,但是旱灾的致灾程度却表现出显著的增加趋势;干旱受灾率显著期普遍发生在 2000 年后;干旱成灾率增加趋势显著期普遍发生在 20 世纪 90 年代末—2010 年前后。

**关键词** 粮食主产区;旱灾;受灾率;成灾率;趋势

中图分类号 F307.11

文章编号 1007-4333(2019)12-0159-09

文献标志码 A

## Analysis on the trend of drought in main grain producing areas in China from 1949 to 2016

TIAN Zhihui, LI Xiaoxue

(Department of Landscape Design & Forestry, Beijing University of Agricultural, Beijing 102206, China)

**Abstract** The trend of drought was analyzed in China's major grain producing areas during the period from 1949 to 2016 using the trend line method and Mann-Kendall non-parametric test method. The objective was to provide a theoretical basis for reducing drought risk and disaster losses in major grain producing areas. The results showed that: 1) The incidence of drought was higher than 60% except for Jiangsu Province. The variation coefficient of drought disasters was higher than 50%. 2) The M-K trend test results show that the ratio of affected area was increasing in Heilongjiang, Inner Mongolia, Jilin and Liaoning provinces, but Anhui Province had a significant decreasing trend. The ratio of suffering area was increasing in Heilongjiang, Inner Mongolia, Jilin, Liaoning, Hebei, Jiangsu, Hubei and Sichuan provinces. The trend was not significant in the other provinces of main grain producing areas. 3) The results of M-K mutation test also showed that the mutation point of the ratio of affected area in Anhui Province was in 2002, and it showed a decreasing trend after 2002. The mutation point was respectively 1977, 1970, 1983 and 1977 in Heilongjiang, Jilin, Liaoning and

收稿日期: 2019-02-21

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD03004)

第一作者: 田志会, 副教授, 主要从事农业气象学、生态学方面研究, E-mail: tzhui@126.com

Inner Mongolia. It showed an increasing trend thereafter, and the ratio of affected area increased significantly since 2000. The mutation point of the ratio of suffering area was respectively 1988, 1977, 1981, 1984, 1961, 1978, 1986 and 1975 in Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Inner Mongolia, Hebei, Jiangsu, Hubei and Sichuan provinces. The ratio of suffering area increased drought rate significantly from the late 1990s to 2010.

**Keywords** main grain producing area; drought; the ratio of affected area; the ratio of suffering area; trend

干旱是中国主要的农业气象灾害,中国科学技术蓝皮书第5号将干旱列为我国气候灾害之首。据不完全统计,公元前206—1949年发生较大旱灾1056次,平均每2年发生一次大旱。根据国家统计局统计,1997—2015年平均每年干旱受灾面积和成灾面积分别为2129.38万和1174.504万 $\text{hm}^2$ (不含港澳台),分别占各类受灾面积和成灾面积的50.6%和53.2%。全球气候暖化加剧了干旱灾害的发生,表现出了干旱区域扩大、损失加强的趋势,对粮食安全构成了威胁<sup>[1-4]</sup>。因此,干旱灾害的研究成为各国科学家关注的焦点。

在进行干旱灾害研究时,表征干旱灾害的指标选取最为关键。降水距平百分率<sup>[5]</sup>、标准化降水指数(SPI)<sup>[6-8]</sup>、相对湿润度指数<sup>[9]</sup>、土壤相对湿度干旱指数<sup>[10]</sup>及Palmer干旱指数<sup>[11-12]</sup>等单项旱涝指数,具有数据种类少、资料易获得、工作量少和计算简单等优点。但是,单项气象旱涝指数因其要素单一,常与实际旱涝情况产生一定偏离,因此,学者们采用综合气象旱涝指数以弥补单项旱涝指数的不足,如Z指数<sup>[13]</sup>、作物水分亏缺指数(CWDI)<sup>[14]</sup>及综合气象干旱指数CI<sup>[15]</sup>,因其能有效地反映实际旱涝情况得到广泛应用。多位学者以灾情作为指标研究气象灾害的变化规律也取得了一定的成果,傅泽强等<sup>[16]</sup>对我国农业水旱灾害的时间变化进行了分析,同时对重灾年景趋势进行了预测;李文杰<sup>[17]</sup>对华北地区近几十年气象灾害的变化趋势的研究;姜灵峰等<sup>[18]</sup>对我国农业生产的主要气象灾害的变化趋势及其原因的研究;房世波等<sup>[19]</sup>对我国近30年来农业气象灾害时间变化趋势和空间分布特征进行了研究;熊俊楠等<sup>[20]</sup>收集1983—2013年西藏自治区气象灾害事件及灾情资料,系统分析了近30年西藏自治区干旱、雪灾、霜冻、冰雹和暴雨洪涝5种主要气象灾害的时空分布特征。邱海军等<sup>[21]</sup>利用Hurst指数和小波分析工具对1950—2010年洪涝灾情的变化动态作了分析,揭示了灾情序列的趋势持续性、特征时间尺度、周期特征和突变点,同时还定性地预测了洪涝灾情的未来走势。

农业灾害系统由孕灾环境、致灾因子、承灾体及灾情等4个要素构成,具有自然和社会双重属性,因此,某种气象灾害造成的损失(灾情)具有不确定性的特点。通常情况下,灾情指标可最终反映致灾因子的强度、孕灾环境性质和承灾体的抗灾能力<sup>[16]</sup>。因此,利用灾情作为气象灾害变化规律的分析指标,更具有实际意义。灾情指标主要包括受灾面积、成灾面积、粮食灾损量和人员伤亡等,以及各种衍生指标,每种指标都从不同角度反映了灾害强度及其对农业生产系统的危害程度。不同年份和区域之间因播种面积差异会导致干旱受灾和成灾面积的变化,时空之间缺乏可比性,采用相对值即干旱受灾率和成灾率可消除其影响。本研究利用1949—2016年的农作物干旱受灾率和成灾率对中国粮食主产区旱灾变化趋势进行分析,旨在为降低粮食主产区旱灾风险及灾害损失提供理论依据。

## 1 研究区概况

本研究粮食主产区的界定以“十三五”“粮食丰产增效科技创新”重点专项拟定的13省区为依据,主要包括河北省、山东省、河南省、安徽省、江苏省、辽宁省、吉林省、黑龙江省、内蒙古自治区、四川省、湖北省、湖南省和江西省,分别归属于黄淮海、东北及长江中下游三大区。根据国家统计局国家数据中心提供的三大粮食作物小麦、稻谷和玉米1980—2016年播种面积及农作物旱灾受灾、成灾面积数据可以发现(<http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>),粮食主产区(13省区)小麦、稻谷和玉米播种面积平均占比分别为75.4%、64.7%和75.4%。其中,玉米播种面积自1980年以来一直维持在74%以上;小麦和稻谷的播种面积自1980年以来一直呈显著增加趋势,进入2010年代小麦和稻谷播种面积平均占比已增加到78.9%和70.8%。同时,粮食主产区(13省区)又处于农业气象灾害多发区,其中,以干旱灾害为主要灾害,尤以黄淮海地区冬小麦-夏玉米的干旱灾害、长江中下游地区单季稻季节性干旱和东北地区玉米干旱最为显著。据统

计,13 省区农作物旱灾受灾和成灾面积占全国农作物旱灾受灾和成灾面积的比例分别为 71.4% 和 70.1%。因此,针对 13 省区干旱灾害变化趋势的研究具有极其重要的意义。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

1949—2016 年各省区农作物受灾面积和农作物成灾面积数据来源于《中国民政统计年鉴》《中国气象灾害年鉴》,其中,13 省区 1967、1968 和 1969 年 3 年数据普遍缺失。此外,四川省缺失 1949 和 1950 年数据,黑龙江、吉林省以及内蒙古自治区 1949 年数据缺失,辽宁省 1949 和 1970 年数据缺失。各省区农作物播种面积数据来源于中华人民共和国农业农村部种植业管理司农作物面积产量(省)数据库(<http://202.127.42.157/moazzys/nongqing.aspx>)。

### 2.2 受灾率和成灾率

为消除省际以及年际之间因农作物播种面积波动所产生的影响,本研究采用相对值即受灾率和成灾率进行分析。受灾面积指因灾减产 1 成以上的农作物播种面积,成灾面积指因灾减产 3 成以上的农作物播种面积<sup>[22-23]</sup>。受灾率为当年农作物受灾面积与当年农作物总播种面积的比值,它基本可以反映灾害的影响范围和规模,成灾率为当年农作物成灾面积与当年农作物总播种面积的比值为成灾率,它反映灾害的致灾程度<sup>[3]</sup>。

### 2.3 变异系数

干旱灾情的年际变化以受灾率或成灾率的变异系数 CV 表示。

$$CV = \frac{S}{M} \times 100 \quad (1)$$

式中: $S$  为受灾率或成灾率的标准差, $M$  为受灾率或成灾率的均值。

### 2.4 趋势线法

干旱灾情的变化趋势分析采用趋势线法,利用倾向率<sup>[24]</sup>表示灾害因子的趋势变化倾向及速率,建立受灾率或成灾率  $y_i$  与时间  $t_i$  之间的一元线性回归方程。

$$y_i = a + bt_i \quad (2)$$

式中: $y_i$  为受灾率或成灾率; $t_i$  为  $y_i$  对应的时间; $a$  和  $b$  为回归系数; $b$  表示受灾率或成灾率变化的倾向值,其正负号代表  $y_i$  变化的倾向;若为正,表示随着时间

的增加受灾率或成灾率也呈增加趋势,反之则呈减少趋势; $b$  值的大小反映了增加或减少的速率。

### 2.5 M-K 趋势检验

干旱灾情变化趋势显著性检验采用 M-K 趋势检验法。此方法是灾害趋势研究的方法之一<sup>[25-28]</sup>,是目前应用最为成熟的基于秩的非参数 Mann-Kendall 统计检验方法(简称 M-K 检验法)。计算方法如下<sup>[24,28]</sup>:

假设有  $n$  个样本  $(X_1, \dots, X_n)$  的时间序列,对于所有  $i, j \leq n$ ,且  $i \neq j$ , $X_i$  和  $X_j$  的分布是不同的,计算检验统计量  $S$ ,公式如下:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(X_i - X_j) \quad (3)$$

式中: $\text{sign}()$  为符号函数,当  $X_i - X_j < 0$  或  $> 0$  时, $\text{sign}(X_i - X_j)$  分别为  $-1, 0$  或  $+1$ 。

计算  $Z$  值

$$\begin{cases} Z = (S - 1) / \sqrt{\text{Var}(S)} & S > 0 \\ Z = 0 & S = 0 \\ Z = (S + 1) / \sqrt{\text{Var}(S)} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (5)$$

在双边趋势检验中,对于给定置信水平  $\alpha$ ,若  $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$ ,则原假设  $H_0$  是不可接受的。即在置信水平  $\alpha$  上,时间序列数据存在明显上升或下降趋势, $Z$  为正值表示增加趋势,负值表示减小趋势, $Z$  的绝对值在  $\geq 1.28, 1.64$  和  $2.32$  时表示分别通过了信度 90%、95% 和 99% 的显著性检验。

### 2.6 M-K 突变检验法

M-K 突变检验法是在 M-K 趋势检验法的基础上发展起来的一种用于时间序列突变检验的一种方法,具体方法可参考文献<sup>[24]</sup>,此方法具有计算简便的优点,通过 M-K 突变检验,不仅可以明确变化趋势突变的时间还可以指出突变的区域,是目前广泛采用的突变检验法。

计算方法如下:对于具有  $n$  个样本量的时间序列  $X$ ,构造一秩序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i, \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

式中:

$$r = \begin{cases} +1, & \text{当 } X_i > X_j \\ 0, & \text{当 } X_i \leq X_j \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, i \quad (7)$$

假定时间序列随机独立,定义统计量  $UF_k$

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

给定显著性水平  $\alpha = 0.05$  即  $U_\alpha = \pm 1.96$ , 当  $|UF_k| > U_\alpha$  时, 表示序列呈显著的增加趋势或者减少趋势。按同样的方法计算逆序时间序列的秩序列, 利用式(8)计算出  $UB_k$ , 将统计量曲线  $UF$ 、 $UB$  绘在同一张图上, 2 条曲线出现交点, 且交点在临界线之间, 那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。当  $UF > 0$  时, 序列呈上升趋势,  $UF < 0$  时, 为下降趋势。

### 3 结果与分析

#### 3.1 粮食主产区干旱发生率分析

区域干旱发生率分析以省级行政区为单元, 采用干旱评估标准(试行)(办旱[2006]18号)省级干

旱标准, 干旱受灾率 5%~20% 为轻度干旱, 20%~30% 为中度干旱, 30%~50% 为重度干旱, 50% 以上为特大干旱。

由图 1 可知, 轻度以上干旱发生率各省区差异较大, 内蒙古自治区和河北省最高, 在 80% 以上; 河南、山东、黑龙江、吉林、辽宁、湖北和湖南省为 70%~80%; 四川、安徽和江西省为 60%~70%; 江苏省干旱发生率相对较低为 47.6%。从特大干旱发生率的区域分布看, 东北地区均有发生, 其中内蒙古自治区、吉林省和辽宁省发生率较高, 分别为 12.12%、7.81% 和 9.38%; 黄淮海五省区除安徽省外均有发生, 其中河北省较高为 3.08%, 长江流域四省区中湖北省发生率为 1.61%, 其他各省均无发生。

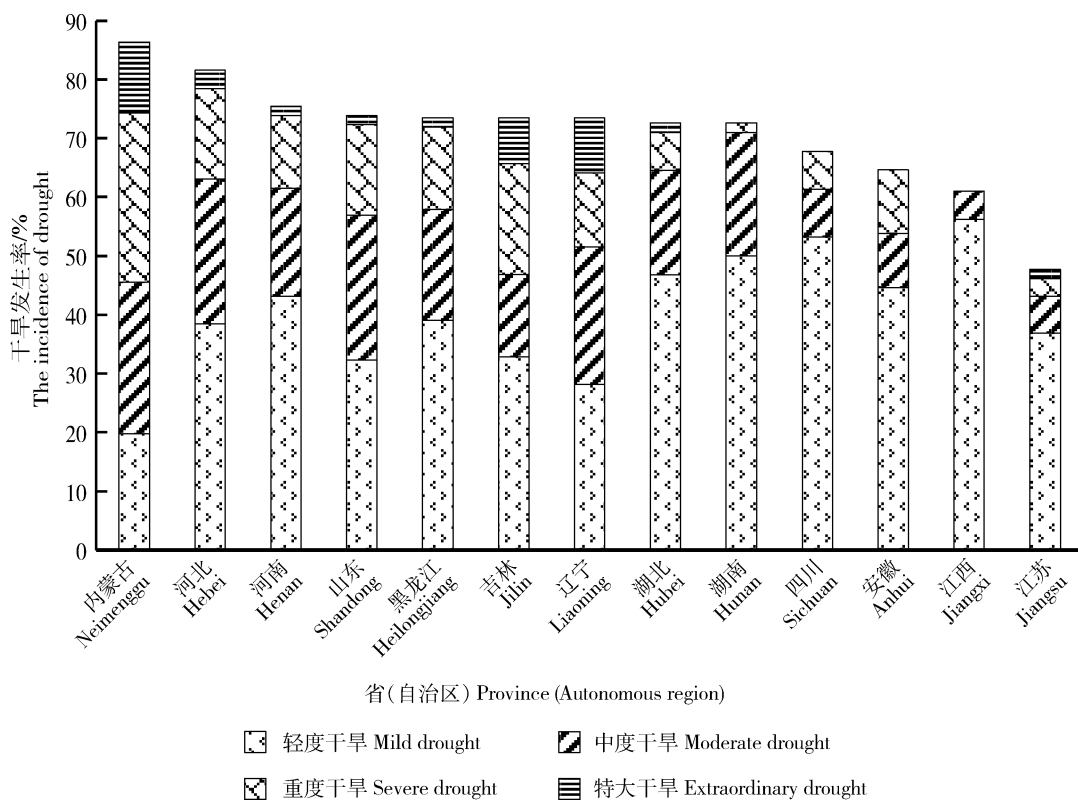


图 1 粮食主产区各省区不同程度干旱等级发生率

Fig. 1 The incidence of drought levels in different provinces of the main grain producing areas

#### 3.2 粮食主产区干旱灾害年际变化分析

由表 1 可知, 河北、吉林和辽宁省以及内蒙古自治区干旱受灾率的均值在 20% 以上, 且干旱受灾率变异系数均低于平均值 73.2%, 其中河北省和内蒙古自治区低于 60%, 分别为 59.4% 和 51.5%, 说明两省区干旱灾害较重且频发。江西和江苏省干旱受灾率在 10% 以下, 但江苏省干旱受灾率变异系数为

粮食主产各省区中最大, 即年际变化最大。

河北、吉林和辽宁省以及内蒙古自治区干旱成灾率的均值在 10% 以上, 其中以内蒙古自治区最大, 为 18.0%; 江西和江苏省干旱成灾率均值在 5% 以下, 其中江苏省最低为 3.6%。江西、安徽和江苏省干旱成灾率的变异系数均在 100% 以上, 其中以江苏省最大, 即干旱成灾率的年际变化为粮食主产区

表 1 粮食主产区干旱受灾率和成灾率的年际变化

Table 1 Internal variation of the ratio of drought-affected and drought-suffering area in major grain producing areas %

项目 Item	省(自治区) Province (Autonomous region)													
	河北 Hebei	河南 Henan	山东 Shan- dong	江苏 Jiang- su	安徽 Anhui	黑龙江 Heilong- jiang	吉林 Jilin	辽宁 Liao- ning	内蒙古 Inner mongolia	湖北 Hubei	湖南 Hunan	江西 Jiang- xi	四川 Si- chuan	
干旱受 灾率	均值	20.1	16.9	18.9	10.0	13.3	18.6	22.8	24.6	29.7	14.2	12.9	8.3	11.7
	变异系数	59.4	74.5	68.5	105.9	81.9	73.5	74.5	71.0	51.5	79.8	61.3	73.4	76.0
干旱成 灾率	均值	10.0	7.5	8.6	3.6	6.0	8.8	11.6	13.5	18.0	6.9	6.4	4.1	5.1
	变异系数	77.0	97.2	77.6	121.6	118.0	84.2	99.3	84.3	59.8	98.1	77.5	103.2	93.4

中最大。内蒙古自治区最小仅 59.8%，说明其年际变化小，干旱成灾经常发生。

### 3.3 粮食主产区干旱变化趋势分析

#### 3.3.1 受灾率变化趋势

由趋势线法分析结果可知(表 2)，江苏省、黑龙

江省、内蒙古自治区、吉林省以及辽宁省干旱受灾率均表现出上升趋势，其余各省表现出下降趋势。但只有安徽省、黑龙江省、内蒙古自治区、吉林省以及辽宁省通过 M-K 趋势检验达到显著水平，其他各省均未通过 M-K 趋势检验，说明变化趋势不显著。其

表 2 粮食主产区干旱受灾率和成灾率变化趋势

Table 2 Trends of the ratio of drought-affected and drought-suffering area in major grain producing areas

省(自治区) Province (autono- mous region)	受灾率趋势线 Trend line of the ratio of affected area	倾向值 Propensity value	M-K 趋势 检验 Z 值 Z-value of M-K test	成灾率趋势线 Trend line the ratio of suffering area	倾向值 Propensity value	M-K 趋势 检验 Z 值 Z-value of M-K test
河南	$y = -0.1216x + 9.7970$	-0.1216	-1.1441	$y = -0.0194x + 6.9618$	-0.0194	0.3860
河北	$y = -0.0625x + 21.0470$	-0.0625	-0.9117	$y = 0.0405x + 7.4838$	0.0405	1.6832**
山东	$y = -0.0910x + 20.5960$	-0.0910	-0.5664	$y = -0.0103x + 7.7183$	-0.0103	0.2950
江苏	$y = 0.0152x + 7.2764$	0.0152	0.8092	$y = 0.0390x + 1.2063$	0.0390	2.9725***
安徽	$y = -0.1267x + 16.6680$	-0.1267	-1.3593*	$y = 0.0077x + 4.1547$	0.0077	0.8131
黑龙江	$y = 0.1794x + 9.6327$	0.1794	1.9248**	$y = 0.1309x + 2.2486$	0.1309	3.3112***
吉林	$y = 0.2516x + 10.5090$	0.2516	2.1482**	$y = 0.1935x + 2.6947$	0.1935	2.8665***
辽宁	$y = 0.3307x + 8.7640$	0.3307	3.0039***	$y = 0.2285x + 2.5435$	0.2285	3.2397***
内蒙古	$y = 0.2301x + 18.9450$	0.2301	2.0171**	$y = 0.1657x + 9.7443$	0.1657	2.4777***
湖北	$y = -0.0096x + 13.2560$	-0.0096	0.5267	$y = 0.0176x + 5.0083$	0.0176	1.8051**
湖南	$y = -0.0405x + 12.9140$	-0.0405	-0.9289	$y = 0.0163x + 4.6645$	0.0163	0.7493
江西	$y = -0.0354x + 8.6114$	-0.0354	-1.2524	$y = 0.0163x + 2.6142$	0.0163	0.6759
四川	$y = -0.0082x + 10.8440$	-0.0082	0.0534	$y = 0.0149x + 3.8705$	0.0149	1.3664*

注：\*、\*\* 和 \*\*\* 分别代表显著水平为 0.1、0.05 和 0.01。

Note: \*, \*\* and \*\*\* represent significant levels of 0.1, 0.05 and 0.01, respectively.

中,安徽省干旱受灾率呈下降趋势,平均每10年下降1.267%,显著水平为0.1;黑龙江省、内蒙古自治区、吉林省干旱受灾率呈上升趋势,达到0.05显著水平,平均每10年干旱受灾率分别上升1.794%、2.301%、2.516%,其中辽宁省干旱受灾率上升趋势达到0.01极显著水平,平均每10年干旱受灾率上升3.307%。由以上分析可以发现,东北地区干旱受灾率增加趋势显著,黄淮海地区除安徽省干旱受灾率呈显著下降趋势外,其余各省变化趋势不显著;长江流域四省区的干旱受灾率变化趋势也不显著。

### 3.3.2 成灾率变化趋势

各省区干旱成灾率的趋势线法分析结果表明(表2),除了河南和山东省干旱成灾率呈现减少趋势外,其他各省区均表现出增加趋势。四川省、湖北省、江苏省、河北省、黑龙江省、内蒙古自治区、吉林省及辽宁省干旱成灾率变化趋势通过M-K趋势检验,其中四川省达到0.1的显著水平,平均每10年

增加0.149%;湖北省和河北省达到0.05的显著水平,平均每10年分别增加0.176%和0.405%;江苏省、黑龙江省、内蒙古自治区、吉林省及辽宁省达到0.01的极显著水平,平均每10年分别增加0.39%、1.309%、1.657%、1.935%和2.285%,其中辽宁省增加最为显著。由以上分析可知,东北地区干旱成灾率增加趋势显著;黄淮海地区的江苏和河北2省呈显著增加趋势,其余3省变化趋势不显著;长江流域的四川和湖北2省为增加趋势,其他2省变化趋势不显著。

### 3.4 粮食主产区干旱变化趋势突变分析

根据M-K趋势检验结果,安徽省、黑龙江省、内蒙古自治区、吉林省、辽宁省的干旱受灾率以及四川省、湖北省、江苏省、河北省、黑龙江省、内蒙古自治区、吉林省、辽宁省干旱成灾率通过M-K趋势检验,变化趋势显著,为此进一步对其变化趋势的突变点进行分析(图2和图3)。

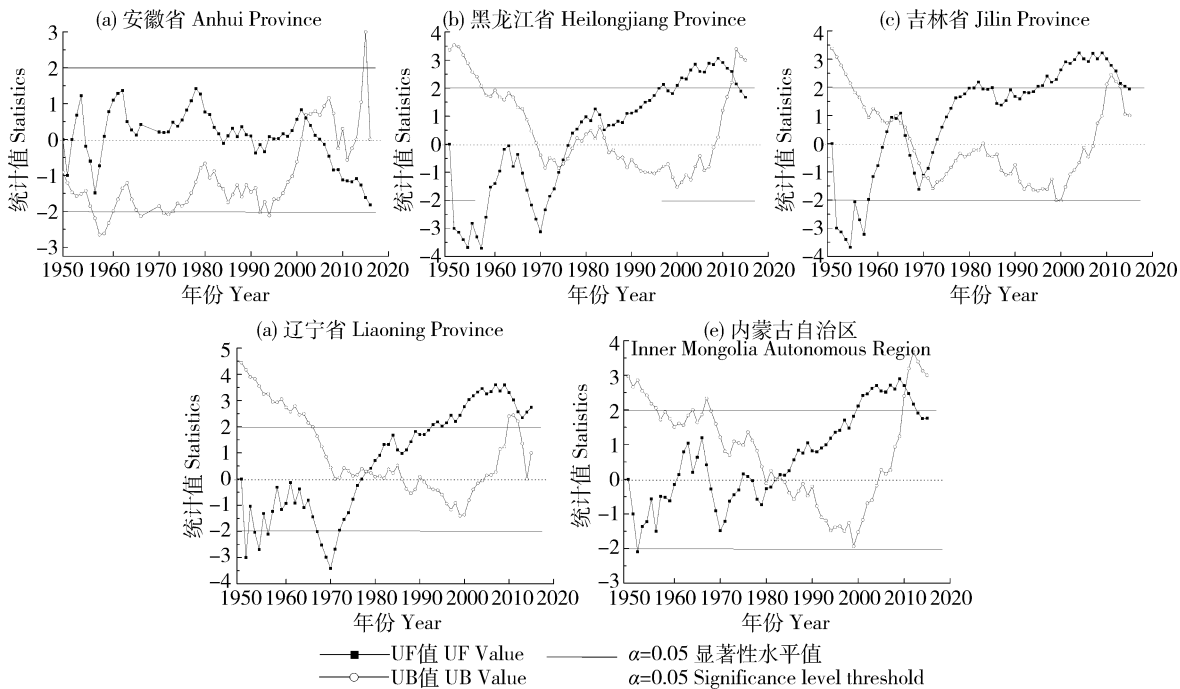


图2 干旱受灾率变化趋势突变检验结果

Fig. 2 Results of the mutation test of the ratio of drought-affected area

#### 3.4.1 受灾率变化趋势突变分析

安徽省干旱受灾率突变点为2002年,自2006年开始呈下降趋势。黑龙江省突变点为1974和2013年,自1977年后成增加趋势,2000—2013年增加趋势达0.05显著水平( $U_{0.05} = 1.96$ )。吉林省突变点为1970年,1973年后呈增加趋势,1995—2014

年达0.05显著水平。内蒙古自治区突变点为1983和2010年,1983年后呈增加趋势,2000—2012年达0.05显著水平。辽宁省突变点为1977年,1977年以后呈增加趋势,1993年后达0.05显著水平。

#### 3.4.2 成灾率变化趋势突变分析

黑龙江省干旱成灾率变化趋势突变年份为

1988 年,1988 年之后呈增加趋势,其中 2000 年以后达 0.05 显著水平。河北省突变点为 1961 年,1961 年以后呈增加趋势,其中 1984—2011 年达 0.05 显著水平。湖北省突变点为 1986 年,1990 年以后为增加趋势,其中 2006—2007 年达 0.05 显著水平。吉林省突变点为 1977 年,1977 年以后为增加趋势,其中 1995 年以后达 0.05 显著水平。江苏省突变点为 1978 年,1981 年以后表现出增加趋势,

其中 1995—2007 年和 2011—2014 年 2 个时段达 0.05 显著水平。辽宁省突变点为 1981 年,1981 年以后为增加趋势,其中 1999 年以后达 0.05 显著性水平。内蒙古自治区突变点为 1984 和 2011 年,1984 年后为增加趋势,2001 年以后达 0.05 显著性水平。四川省突变点为 1975 年,1984 年以后为增加趋势,其中 1997—2011 年达 0.05 显著水平。

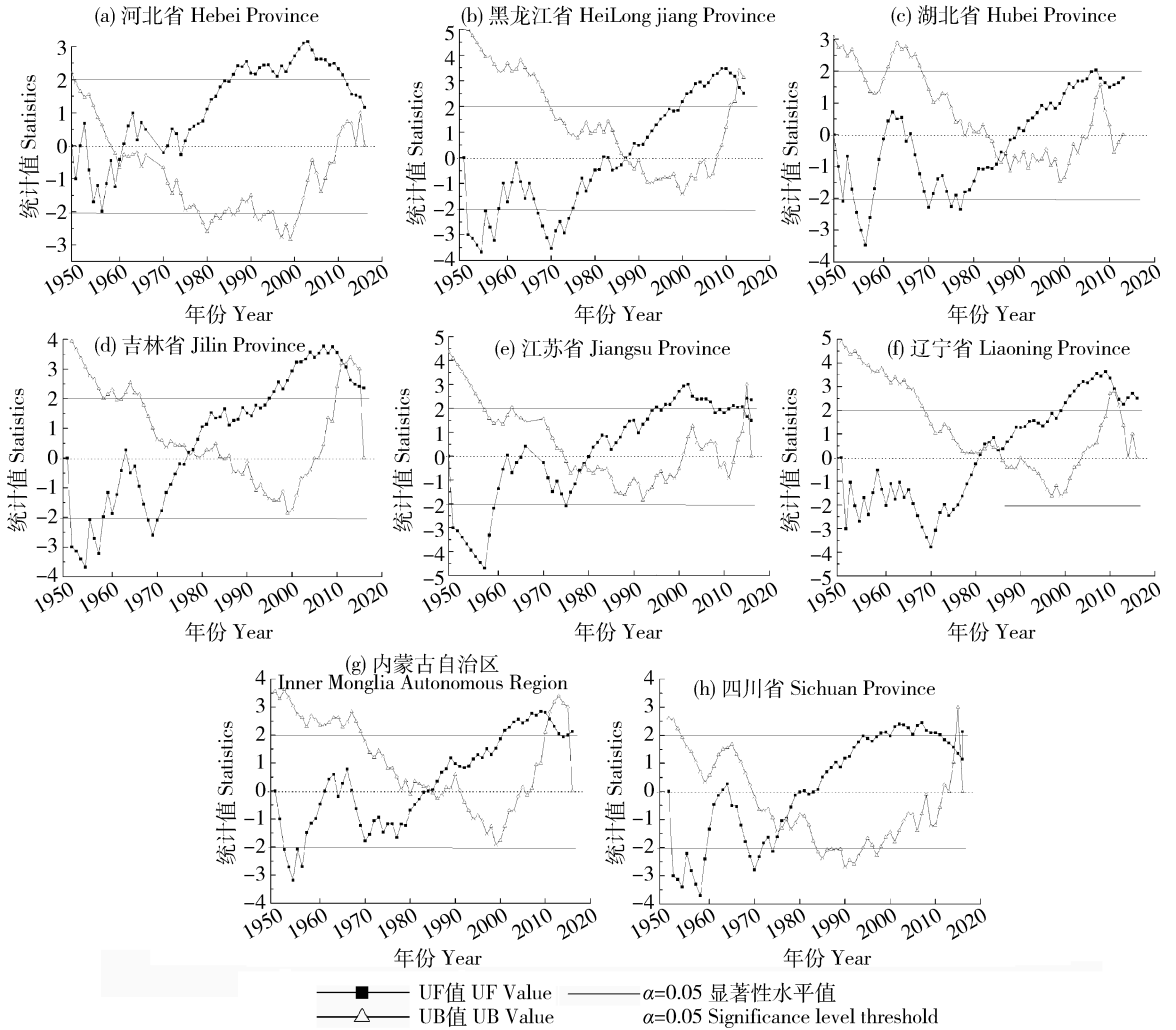


图 3 干旱成灾率变化趋势突变检验结果

Fig. 3 Results of the mutation test of the ratio of drought-suffering area

#### 4 结论

1) 粮食主产区干旱灾害发生率普遍较高且年际变化大,除江苏省外均高于 60%。各省区干旱受灾率和成灾率的变异系数均在 50%以上。

2) M-K 趋势检验结果表明,干旱受灾率:黑龙江省、内蒙古自治区、吉林省和辽宁省增加趋势显

著,安徽省呈现显著减少趋势,其他省区变化趋势不显著;干旱成灾率:黑龙江省、内蒙古自治区、吉林省、辽宁省、河北省、江苏省、湖北省和四川省增加趋势显著,其他省区变化趋势不显著。由此可以说明,东北三省及内蒙古自治区旱灾影响范围、规模以及致灾程度均呈显著增加趋势;黄淮海地区的河北省、江苏省以及长江流域的湖北省、四川省虽然干旱影

响范围和规模没有表现出显著变化趋势,但致灾程度却表现出显著增加趋势,与杨晓光等<sup>[29-30]</sup>的结论一致。

3) 干旱受灾率增加趋势显著期普遍发生在 2000 年后,旱灾影响范围和规模显著增加,此结果与 Murat 等<sup>[6]</sup>的结论一致。其中,安徽省旱灾受灾率变化突变点为 2002 年,之后呈减少趋势;黑龙江省、吉林省、辽宁省及内蒙古自治区突变点分别为 1977、1970、1983 和 1977 年,之后呈增加趋势。

4) 干旱成灾率增加趋势显著期普遍发生在 20 世纪 90 年代末—2010 年前后,致灾程度增加显著,与 Murat 等<sup>[6]</sup>,Kumar 等<sup>[7]</sup>的结论一致。干旱成灾率变化突变点各省区间有差异,东北地区的黑龙江省、吉林省、辽宁省及内蒙古自治区分别为 1988、1977、1981 和 1984 年,黄淮海地区的河北和江苏省分别为 1961 和 1978 年,长江中下游地区的湖北和四川省分别为 1986 和 1975 年,各省区突变点之后均呈增加趋势。

## 参考文献 References

- [1] 薛昌颖,张弘,刘荣花. 黄淮海地区夏玉米生长季的干旱风险[J]. 应用生态学报,2016,27(5):1521-1529  
Xue C Y,Zhang H,Liu R H. Drought risk of summer maize in Huanghuaihai Area, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2016,27(5):1521-1529 (in Chinese)
- [2] 郑远长. 全球自然灾害概述[J]. 中国减灾,2000,10(1):14-19  
Zheng Y C. Overview of global natural disasters[J]. *China Disaster Reduction*,2000,10(1):14-19 (in Chinese)
- [3] 邓振镛,张强,尹宪志,张存杰,辛吉武,刘德祥,蒲金涌,董安祥. 干旱灾害对于干旱气候变化的响应[J]. 冰川冻土,2007,29(1):114-118  
Deng Z Y,Zhang Q,Yin X Z,Zhang C J,Xin J W,Liu D X,Pu J Y,Dong A X. Response of drought damage to arid climate change[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*,2007,29(1):114-118 (in Chinese)
- [4] Huang J P, Yu H, Dai A G, Wei Y, Kang L. Drylands face potential threat under 2 °C global warming target[J]. *Nature Climate Change*,2017,7(6):417-422
- [5] 申乐琳,何金海,周秀骥,陈隆勋,祝从文. 近 50 年来中国夏季降水及水汽输送特征研究[J]. 气象学报,2011,68(6):918-931  
Shen L L,He J H,Zhou X J,Chen L X,Zhu C W. The regional variability of the summer rainfall in China and its relation with anomalous moisture transport during the recent 50 years[J]. *Acta Meteorologica Sinica*,2011,68(6):918-931 (in Chinese)
- [6] Murat T, Hasan T. Use of the standardized precipitation index SPI and modified SPI for shaping the drought probabilities over

- Turkey[J]. *International Journal of Climatology*,2009,29(15):2270-2282
- [7] Kumar M N, Murthy C S, Sai M V R S, Roy P S. Spatiotemporal analysis of meteorological drought variability in the Indian region using standardized precipitation index[J]. *Meteorological Applications*,2012,19(2):256-264
- [8] He Y, Ye J, Yang X. Analysis of the spatio-temporal patterns of dry and wet conditions in the Huai River Basin using the standardized precipitation index[J]. *Atmospheric Research*,2015,166:120-128
- [9] 王明田,王翔,黄晚华,张玉芳,马均. 基于相对湿润度指数的西南地区季节性干旱时空分布特征[J]. 农业工程学报,2012,28(19):85-92  
Wang M T,Wang X,Huang W H,Zhang Y F, Ma J. Temporal and spatial distribution of seasonal drought in Southwest of China based on relative moisture index[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,2012,28(19):85-92 (in Chinese)
- [10] Wang S P, Zhang C J, Song L C, Li Y H, Feng J Y, Wang J S. Relationship between soil redative humidity and the multiscale meteorological drought indexes[J]. *Journal of Glaciology & Geocryology*,2013,35(4):865-873
- [11] Zhai J Q, Su B, Krysanova V, Vetter T, Gao C, Jiang T. Spatial variation and trends in PDSI and SPI indices and their relation to streamflow in 10 large regions of China[J]. *Journal of Climate*,2010,23(3):649-663
- [12] 赵舒怡,宫兆宁,刘旭颖. 2001—2013 年华北地区植被覆盖度与干旱条件的相关分析[J]. 地理学报,2015,70(5):717-729  
Zhao S Y, Gong Z N, Liu X Y. Correlation analysis between vegetation coverage and climate drought conditions in North China during 2001—2013[J]. *Acta Geographica Sinica*,2015,70(5):717-729 (in Chinese)
- [13] 黄道友,彭廷柏,王克林,陈桂秋. 应用 Z 指数方法判断南方季节性干旱的结果分析[J]. 中国农业气象,2003,24(4):12-15  
Huang D Y, Peng T B, Wang K L, Chen G Q. Analysis of seasonal drought applying Z-index method in South China[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*,2003,24(4):12-15 (in Chinese)
- [14] 何斌,刘志娟,杨晓光,孙爽. 气候变化背景下中国主要作物农业气象灾害时空分布特征(II):西北主要粮食作物干旱[J]. 中国农业气象,2017,38(1):31-41  
He B, Liu Z J, Yang X G, Sun S. Temporal and spatial variations of agro-meteorological disasters of main crops in China in a changing climate(II): Drought of Cereal Crops in Northwest China[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*,2017,38(1):31-41 (in Chinese)
- [15] 柳媛普,王素萍,王劲松,王芝兰. 气候变暖背景下西南地区干旱灾害风险评估[J]. 自然资源学报,2018,33(2):325-336  
Liu Y P, Wang S P, Wang J S, Wang Z L. Risk assessment of drought disaster in southwest China under the background of climate warming[J]. *Journal of Natural Resources*,2018,33



- (2):325-336 (in Chinese)
- [16] 傅泽强,蔡运龙,李军. 我国农业水旱灾害的时间分布及重灾年景趋势预测[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(2): 7-15  
Fu Z Q, Cai Y L, Li J. Temporal distribution and trend prediction of agricultural flood and drought disasters in China [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2002, 11 (2): 7-15 (in Chinese)
- [17] 李文杰. 我国华北地区近几十年气象灾害的灾情变化趋势[J]. 南方农业, 2017, 11(37): 104-105  
Li W J. Trends of meteorological disasters in North China in recent decades [J]. *South China Agriculture*, 2017, 11 (37): 104-105 (in Chinese)
- [18] 姜灵峰, 崔新强. 近 20 年我国农业气象灾害变化趋势及其原因分析[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(2): 102-108  
Jiang L F, Cui X Q. Analysis on variation tendency and cause of China's agrometeorological hazards in the latest 20 years [J]. *Torrential Rain and Disasters*, 2016, 35 (2): 102-108 (in Chinese)
- [19] 房世波, 阳晶晶, 周广胜. 30 年来我国农业气象灾害变化趋势和分布特征[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(5): 69-72  
Fang S B, Yang J J, Zhou G S. Change trend and distributive characteristics of agrometeorological disasters in China in recent 30 years [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2011, 20 (5): 69-72 (in Chinese)
- [20] 熊俊楠, 刘志奇, 范春桐, 张昊, 彭超, 孙铭. 1983—2013 年西藏自治区气象灾害时空分布特征与变化趋势[J]. 冰川冻土, 2017, 39(6): 1-11  
Xiong J N, Liu Z Q, Fan C K, Zhang H, Peng C, Sun M. Temporal and spatial distribution characteristics and changing trend of meteorologic disaster in Tibet Autonomous Region from 1983 through 2013 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(6): 1-11 (in Chinese)
- [21] 邱海军, 曹明明, 胡胜, 王彦民, 郝俊卿. 近 60a 来中国洪涝灾情变化趋势持续性和周期性研究[J]. 地球与环境, 2014, 42(1): 17-26  
Qiu H J, Cao M M, Hu S, Wang Y M, Hao J Q. Susceptibility and periodicity of flood disasters since the 1950s in China [J]. *Earth and Environment*, 2014, 42(1): 17-26 (in Chinese)
- [22] 中华人民共和国民政部. 自然灾害情况统计制度[Z]. 北京: 中华人民共和国民政部, 2008  
Ministry of Affairs of the People's Republic of China. Statistical system for Natural Disasters [Z]. Beijing: Ministry of Civil Affairs of the people's Republic of China, 2008 (in Chinese)
- [23] 姚亚庆, 郑粉莉, 关颖慧. 近 60 年我国旱涝灾情时空特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 228-263  
Yao Y Q, Zheng F L, Guan Y H. The temporal and spatial characteristics of flood and drought during the recent 60 years in China [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35 (1): 228-263 (in Chinese)
- [24] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007  
Wei F Y. *Modern Climate Statistical Diagnosis and Prediction Technology* [M]. 2nd ed. Beijing: Meteorological Press, 2007 (in Chinese)
- [25] 张立伟, 延军平. 咸阳市气候暖干化及干旱灾害趋势判断[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 131-135  
Zhang L W, Yan J P. A judgment of warming-drying climate changes and drought disaster trend of Xianyang City [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25 (10): 131-135 (in Chinese)
- [26] 杜华明, 贺胜英. 岷江流域降水特征与旱涝灾害趋势分析[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 153-158  
Du H M, He S Y. The Analysis on characteristics of precipitation and trends in drought and flood disasters in Minjiang River Basin [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2015, 22(1): 153-158 (in Chinese)
- [27] 徐丽梅, 郭英, 刘敏, 胡乔利, 陈福军, 杨树聪, 沈彦俊. 1957—2008 年海河流域气温变化趋势和突变分析[J]. 资源科学, 2011, 33(5): 995-100  
Xu L M, Guo Y, Liu M, Hu Q L, Chen F J, Yang S C, Shen Y J. Analysis of temperature trends and change points in the Haihe River Basin over the last 50 years [J]. *Resources Science*, 2011, 33(5): 995-100 (in Chinese)
- [28] 王米雪, 延军平. 1960—2012 年中国东南沿海地区降水变化特征及重涝灾害趋势判断[J]. 地球与环境, 2015, 43(6): 667-674  
Wang M X, Yan J P. Precipitation characteristics of flooding from 1960 to 2012 and serious flooding judgment for the Southeast Coast of China [J]. *Earth and Environment*, 2015, 43 (6): 667-674 (in Chinese)
- [29] 杨晓光, 李茂松. 北方主要作物干旱和低温灾害防控技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016  
Yang X G, Li M S. *Prevention and Control Technology for Drought and Low Temperature Disasters of Main Crops in North China* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016 (in Chinese)
- [30] 杨晓光, 李茂松. 中国南方季节性干旱特征集中制度适应[M]. 北京: 气象出版社, 2014  
Yang X G, Li M S. *Adaptation of Seasonal System of Seasonal Drought Characteristics in Southern China* [M]. Beijing: Meteorological Press, 2014 (in Chinese)