

# 近 30 年我国气候变化的不稳定性及其与农业生产的关系

吴金栋 太华杰

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

引入信息论中熵值分析方法,利用全国七大区 1961—1990 年的气象和产量资料,讨论了近 30 年平均气温、最高气温、最低气温和降水量的熵值时空变化类型,详细分析了我国气候变化的不稳定性。在此基础上,定性讨论了气候波动与农业气象灾害的关系及其对农业产量的影响,并分区建立了产量与气象要素熵的回归模型。

**关键词:** 气候变化 不稳定性 熵 农业

## 引 言

气候变化通常包括两方面的含意:气候变化的长期趋势和短期气候波动,即气候的异常变化。近年来,国内外学者就前者开展了大量的研究,就未来气候变化的时空分布规律,及其对农业生产的可能影响,得出了许多很有价值的结论。在我国,短期气候波动是造成农业产量不稳的重要原因,而这方面的研究较少。本文拟做一探讨。

熵是事物不肯定程度的量度,其值越大,事物的不肯定程度越大。对于连续随机变量  $x$ ,其熵  $H(x)$  定义为

$$H(x) = - \int f(x) \log_2 f(x) dx \quad (1)$$

式中  $f(x)$  为概率密度函数。对于正态连续随机变量,积分可得熵  $H(x)$  为

$$H(x) = \log_2 \sqrt{2\pi e} + \log_2 \sigma \quad (2)$$

式中  $\sigma$  为均方差。

本文选取全国 7 个站点:长春、兰州、济南、南京、长沙、成都、广州,分别代表东北、西

北、华北、江淮、江南、西南、华南等七大地区,利用 1961—1990 年 30 年的气象和粮食单产资料,依公式(2)分别计算了平均气温、最高气温、最低气温和降水量等 4 个要素近 30 年的熵值,以及各要素各季、月的熵值。统计分析各要素熵值变化的时间型和空间型。在此基础上,讨论了气候变化的不稳定性与农业气象灾害的关系及其对农业产量的可能影响,并得出产量与气象要素熵值的定量关系。

## 1 近 30 年气温变化的熵值分析

### 1.1 平均气温熵值的时空变化

#### 1.1.1 年变化

根据分析可知,除兰州外,其它站点年平均气温熵的变化具有大体相似的特点。30 年来,出现了两个峰值,分别在 60 年代后期和 80 年代中前期,一个低值在 70 年代末 80 年代初(图略)。1985 年以后,全国平均气温的变化都处于相对稳定的阶段,熵值较小,熵值距平小于零(图 1)。西北地区年平均气温熵

呈明显逐年递减趋势(图略),1976年以前,熵距平大于零,1976年以后,熵距平小于零(图1),表明西北地区平均气温的稳定程度有逐年增大的趋势。

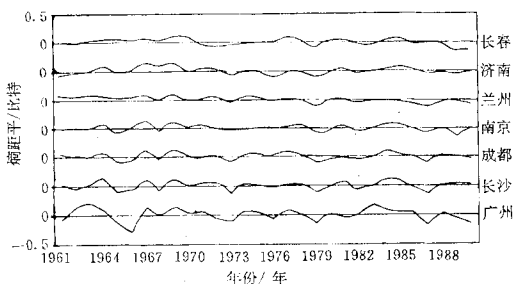


图1 近30年年平均气温熵距平变化曲线

年平均气温熵的变化具有较为明显的纬向分布特征(表1)。随着纬度的增加,熵值增大(除成都外)。高纬度地区平均气温年际间的差异明显大于低纬度地区。西南地区年平均气温变化平稳,熵值较小。

表1 不同地区气温熵和降水熵的年、季分布/比特

站点	长春	济南	兰州	南京	成都	长沙	广州
纬度	43°54'	36°41'	36°03'	32°00'	30°40'	28°12'	24°18'
平均气温	春	2.187	2.083	1.524	1.092	1.481	1.332
	夏	1.241	1.731	1.448	1.765	0.875	1.413
	秋	1.909	1.740	1.615	1.366	0.947	1.433
	冬	2.741	2.171	2.292	1.851	1.537	1.969
	年	1.601	1.179	1.122	0.725	0.381	0.683
最高气温	春	2.907	3.128	2.552	2.671	2.670	2.345
	夏	2.482	2.174	2.178	2.436	1.803	2.002
	秋	2.367	2.394	3.038	2.930	2.779	2.497
	冬	3.476	3.363	3.384	3.108	2.955	3.375
	年	2.545	2.189	2.156	2.327	1.582	1.978
最低气温	春	3.652	3.228	3.150	2.520	2.955	2.501
	夏	2.854	3.187	2.670	2.663	2.127	2.556
	秋	3.289	3.381	3.284	2.867	2.804	3.257
	冬	3.276	3.330	3.020	3.037	2.004	3.394
	年	3.284	3.176	3.078	2.919	1.987	3.395
降水量	春	7.030	7.634	7.051	8.514	7.678	8.773
	夏	8.901	9.573	8.180	9.383	9.339	9.443
	秋	7.396	8.060	6.950	8.535	8.232	8.764
	冬	4.692	5.991	3.957	7.250	5.260	7.913
	年	8.728	9.805	8.420	9.669	9.391	9.720

### 1.1.2 季、月变化

除南京外,其它站点平均气温熵的逐月变化如图2所示,2月和6月熵值分别最大和最小。冬季熵值最大,春、秋季次之,夏季熵值最小。南京则相反,有两个峰值和两个低谷值(图略),分别在2月、7月和5月、10月,夏季熵增大,并大于春、秋季。

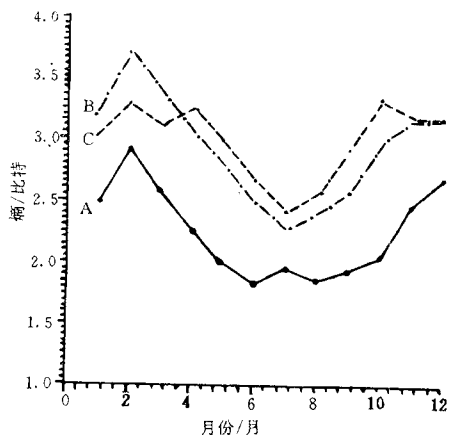


图2 气温熵(全国平均)逐月变化曲线

A:月平均气温熵;B:月最高气温熵;C:月最低气温熵

近30年来,春季、秋季和冬季平均气温熵纬向特征明显(表1)。高、低纬度地区熵值均大于中纬度地区熵值,其中东北地区气温变化最大,春季江淮地区变化最小,秋、冬季西南地区变化最小;夏季纬向特征不明显,江淮地区变化最大,华南地区变化最小。

### 1.2 最高气温和最低气温熵值的时空变化

#### 1.2.1 年变化

##### 1.2.1.1 最高气温和最低气温的变化

近30年来,最高气温和最低气温的变化较其它要素平稳(图3),年际间差异不明显。全国大部分地区最高气温呈下降趋势,最低气温呈上升趋势(表2),且最低气温的上升较最高气温的下降快,全国平均分别年递增0.08℃和年递减0.02℃。气候变化在最低气温上表现更为显著。

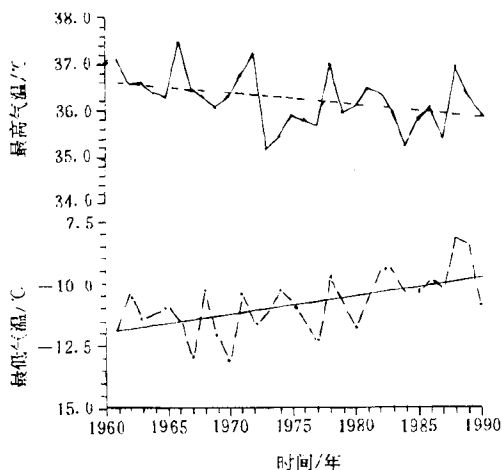


图3 近30年最高气温(实线)和最低气温(虚线)全国平均变化曲线及拟合值

表2 最高气温和最低气温年平均升高/℃

地区	最高气温平均变化	最低气温平均变化
东北	-0.07	0.08
西北	0.01	0.17
华北	-0.06	0.08
江淮	-0.02	0.03
西南	-0.01	0.04
江南	-0.03	0.01
华南	0.02	0.12
全国平均	-0.02	0.08

不同地区最高气温和最低气温的变化趋势不同。东部地区,高纬度地区最高气温和最低气温的变化速率一般比低纬度地区大。值得一提的是,西北和华南地区最低气温上升很快,年递增分别达 0.17℃ 和 0.12℃。

### 1.2.1.2 熵值分析

不同地区最高气温熵和最低气温熵的 annual 变化曲线有一定差异(图略)。从全国平均情况来看,最高气温熵在70年代前期较小,80年代前期较大;最低气温熵呈逐年递减趋势。30年来,最低气温熵始终大于最高气温熵,表明最低气温年内和年际间的变化都较最高气温的变化大。

年最高气温熵和最低气温熵的纬向特征

没有平均气温熵的纬向特征明显(表1)。一般高纬度地区的熵值仍然大于低纬度地区。西南地区最高气温和最低气温的年变化也不大,熵值最小。

### 1.2.2 季、月变化

最高气温熵和最低气温熵的季、月变化具有同平均气温熵相似的特点,即冬季最大,春、秋季次之,夏季最小(7月出现低谷值)(图2)。

但是近30年,季最高气温熵和最低气温熵没有明显的纬向特征(表1)。总的说来,高纬度地区的熵大于低纬度地区。春、夏、秋、冬各季最高气温最大熵分别是华北、东北、西北和华北地区;春、夏、秋各季最低气温最大熵分别是东北、华北和华北地区,均为高纬度地区。西南地区最高气温和最低气温变化较为平稳,夏季最高气温熵和夏、秋、冬季最低气温熵均为最小熵值。

全国大部分地区各季最低气温比最高气温更为不稳定,但是冬季除长沙和广州外,其它站点最高气温变化大。

## 2 近30年降水变化的熵值分析

### 2.1 年变化

降水熵的年变化较其它要素复杂。不同地区的熵值变化曲线具有不同的类型。从全国平均图(图4)可见,60年代后期和70年代末、80年代初是两个降水相对稳定的时期。30年来,降水熵值有逐渐平稳的趋势,年际间的差异减小。

年降水量熵纬向特征不明显,但不同地区的差异仍较显著(表1)。华北是北方降水最不稳定的地区,华南是南方降水最不稳定的地区。

### 2.2 季、月变化

降水熵值的季、月变化与气温完全相反。

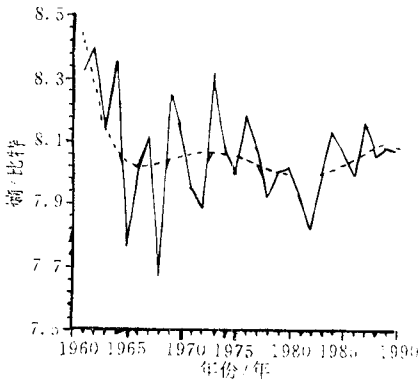


图4 近30年降水熵全国平均变化曲线  
实线为实际值,虚线为拟合值

各站点均呈二次抛物线型(图略)。夏季熵值最大,春、秋季次之,冬季熵值最小。

月降水量熵值差异的纬向性较为明显,不同地区季节之间的差异不同。高纬度地区各月降水的不稳定性差异很大,而低纬度地区则较一致。但是低纬度地区各季降水熵值都大于高纬度地区(表1),其中华南最为不稳定,西北则最为稳定。

### 3 气候的不稳定性对农业生产的可能影响

#### 3.1 气候的不稳定性与农业气象灾害的关系

##### 3.1.1 气温的不稳定性

##### 3.1.1.1 热量条件并没有随气温的增加而趋向稳定

在中国,常年热量条件是满足作物生长发育的,造成农作物减产的主要原因常常来自气温的突变,因此,分析最高气温和最低气温的变化更能准确地反映热量条件的变化。

从图2可见,各月最高气温和最低气温熵均大于平均气温熵,说明各月最高、最低温度变化较大,热量条件还不能完全满足农作物生长发育的需要。

年平均气温熵的变化趋势没有气温本身的变化趋势明显。平均气温虽然呈上升趋势,

但是在某一时期内,气温熵值增大,热量条件的稳定度还有可能降低,致使作物遭受高、低温危害。

##### 3.1.1.2 低温危害的可能性大于高温危害的可能性,但冻害有减轻的趋势

近30年来,虽然年最低气温熵呈下降趋势,但是从分析中可知,最低气温熵始终大于最高气温熵,表明最低气温比最高气温变化大。由图2可以进一步看出,在作物的主要生长季4—11月内,最低气温熵均大于最高气温熵,表明在这些月份里,最低气温比最高气温更为不稳定,而最高气温呈下降趋势,因此,作物遭受冷害、霜冻和寒害的可能性较高温危害大。在气候变暖的前提下,这是一个值得注意的结论。

另外,由于作物的气候适应性,未来作物的抗低温能力可能弱于抗高温能力。

冬季气温的变化虽然比其它各季更为不稳定,但是由图2可见,冬季最低气温熵小于最高气温熵,表明最低气温较最高气温稳定,加之年最低气温有逐年升高趋势,因此,作物遭受冻害的可能性相对减小。

##### 3.1.1.3 高、低温危害在不同地区的分布

由第1节分析可知,年平均气温、最高气温和最低气温的稳定度都随纬度的增加而减小,而高纬度地区基础温度偏低,因此,作物生长发育所需的热量条件常常得不到满足。

东北地区夏、秋季是作物产量形成的关键时期,但是从表1可见,夏季最高气温熵和秋季平均气温熵都为全国最大,温度成为制约东北地区粮食生产的主要因子。

西北和华北地区秋季最低气温熵大于春季最低气温熵,早霜冻的概率较晚霜冻大。

与其它地区不同,江淮地区夏季平均气温熵反而增大,夏季气温十分不稳定,遇高温

年份,可造成早稻和一季稻空壳或秕粒,产量锐减。

江南和华南地区秋季最低气温熵明显大于南方其它地区,寒露风多发。华南最低气温春季比秋季更为不稳定,春季低温对早稻的危害比秋季低温对晚稻的危害更为频繁。

受特殊地形的影响,西南地区气温变化平稳,高、低温危害发生较少。

### 3.1.2 降水的不稳定性

虽然我国是季风气候,雨热同季,但是30年来,降水最多的夏季,其不稳定性也最大,而降水最少的冬季却相对稳定。这对农业生产有不利的影响。夏季降水量大,变率也大,故极易造成洪涝或干旱。

南方地区年降水量大,季节之间的分配较为均匀,但是由于年际间的变化大,所以容易发生洪涝或干旱。北方地区年降水量小,形成了干旱性气候。由于降水年际间的变化小,所以异常的洪涝或干旱较少发生。但由于降水相对集中,有时也出现大洪、大涝或大旱。

### 3.2 气候的不稳定性对农业产量的影响

根据作物产量(Y)的统计模型

$$Y = Y_t + Y_w + \Delta Y \quad (3)$$

(式中,  $Y_t, Y_w, \Delta Y$  分别为趋势产量,气象产量

和随机产量)和不同地区产量序列的具体特点,分别采取不同的模拟方法,提取趋势产量  $Y_t$  (模式从略)。

依式2计算不同地区气象产量熵。由图5可见,近30年来,我国北方各地粮食产量波动的差异较大,南方各地较为一致。其中东北地区粮食产量波动最大,西北地区则最为稳定。

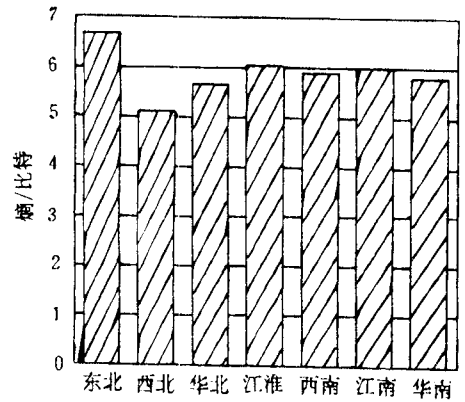


图5 不同地区近30年的产量熵分布

利用春、夏、秋、冬各季平均气温熵、最高气温熵、最低气温熵和降水量熵共16个因子,运用逐步回归方法,得出不同地区气象产量和气象要素熵的关系(表3)。

表3 产量与气象要素熵的回归模式

地区	模式	R
东北	$Y_w = -314.98 + 70.15x_1 - 10.13x_{16}$	0.62
西北	$Y_w = -13.56 + 4.47x_6 + 6.21x_8 - 2.89x_{14}$	0.60
华北	$Y_w = -143.40 + 25.59x_{11} + 3.75x_{15} + 2.81x_{10} - 3.84x_4$	0.63
江淮	$Y_w = 32.73 - 8.14x_{13} - 5.26x_4 + 4.63x_{15}$	0.61
西南	$Y_w = 20.10 - 9.78x_3 + 3.20x_{10}$	0.52
江南	$Y_w = 32.56 - 9.56x_8 - 9.35x_{10} - 5.41x_{14} + 16.78x_1$	0.66
华南	$Y_w = -20.81 + 4.68x_{16} - 5.62x_8$	0.50

表中  $Y_w$  为气象产量,  $x_1-x_4, x_5-x_8, x_9-x_{12}, x_{13}-x_{16}$  分别为平均气温、最高气温、最低气温和降水量4个要素春、夏、秋、冬各

季的熵值。

不同地区影响产量的因子不同。与常规产量模式不同的是,有些因子并不是作物生

长期的关键因子。除西南地区外,其它地区回归效果较好,这可能是由于西南地区气候波动较小的原因。

#### 4 小结与讨论

4.1 近30年,气温和降水的变化具有明显的不稳定性。气温的不稳定性有一些短期变化特征,高纬度地区大于低纬度地区,冬季大于春、秋季,夏季最为稳定;降水的不稳定性有逐渐平稳的趋势,高纬度地区小于低纬度地区,夏季大于春、秋季,冬季最为稳定。

4.2 最高气温呈下降趋势,最低气温呈上升趋势,且最低气温的变化较最高气温大。

4.3 热量条件不稳,未来作物遭受低温危害的可能性大于高温危害的可能性,但冻害有可能减轻。仅从降水的不稳定性分析,夏季是干旱和洪涝的多发期,南方较北方更频繁。

4.4 气象产量与气候因子的不稳定性有密切关系。不同地区产量波动的差异不大,但影响产量波动的因子不同。

4.5 本文仅从气候变化的不稳定性出发,如果再考虑气候因子的量值变化,结果会有更大改进,可做为提高产量模式精度的尝试。

4.6 农业气象灾害预报研究也要考虑到气候变化的不稳定性。

#### 参考文献

- 1 曲建和,孙安健.黄淮海地区气温变化特征.应用气象学报,1991,2(4):423—428.
- 2 宋连春.近40年我国气温时空变化特征.应用气象学报,1994,5(1):119—123.
- 3 章基嘉等.四十年来我国气候变化及其对农业生产的可能影响.大气科学研究与应用,1992,2:39—43.
- 4 杨位钦等.时间序列分析与动态数据建模.北京:北京理工大学出版社,1988.

## The Unsteadiness of Climate Change and Its Relationship with Agricultural Production in China during Recent 30 Years

Wu Jindong Tai Huajie

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

#### Abstract

Based on the data of meteorology and crop yield in 7 regions of China from 1961 to 1990, the method of entropy analysis in information theory is applied to discussion of the temporal and spatial distribution patterns of the entropy change of 4 meteorological factors (mean temperature, maximal temperature, minimal temperature and rainfall) in recent 30 years. The unsteadiness of climate change in China is analyzed in detail. After that, the relationship between climate fluctuation and agrometeorological disasters and the impacts of climate fluctuation on crop yield are revealed qualitatively. The regression models of yield and entropy of meteorological factors in different regions are established.

**Key Words:** climate change unsteadiness entropy agriculture