

东北低温冷害和粮食产量

丁士威

(吉林省气象科学研究所)

一、前言

低温冷害一般是指在作物整个生育期或某个生育期气温低于作物所需的临界温度，而造成严重减产。

人们对低温冷害的认识有一个过程。五十年代和六十年代初，东北处于多雨时期，因雨涝减产是主要的。当时人们把低温少日照造成的减产，称为“哑叭灾”，实际上是受灾原因说不清楚的意思。1969、1972年由于气温低、热量明显不足，造成了严重减产，引起了人们广泛的重视，并从日本引进低温冷害这个名词，目前已被人们所接受。

二、东北地区粮食产量和气温的关系

我们计算了1949—1978年辽宁、吉林、黑龙江三省粮食总产量的相关系数。辽宁与吉林、黑龙江总产的相关系数分别为0.913和0.897，吉林和黑龙江总产的相关系数为0.910。这三个相关系数极其相近，并且远远超过信度0.001的相关系数0.576。说明了东北三省的产量有很好的一致性，可以用东北三省的总产来讨论其变化规律。

我们曾用东北地区23个测站延伸近百年的5—9月气温的相关矩阵，发现这些站气温有极好的一致性，它们之间所有的相关系数均通过0.05信度的检验，特别是长春和各站5—9月气温的平均相关系数最高(0.755)，最小的相关系数为0.481，信度均达0.001。

延伸资料的结论是否可信呢？我们又用这23个站1951年—1970年的实测资料，计算长春与其余22个站5—9月气温的相关系数，这22个相关系数平均为0.771，均超过信度0.05的检验。这又证明东北地区气温有很好的一致性，可以用长春5—9月气温代表东北地区的气温。

表1

各种热量条件与东北脉动产量的相关系数

	无霜期	积温	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₆₋₈	T ₆₋₉	T ₅₋₉
相关系数	0.307	0.590	0.460	0.354	-0.099	0.347	0.295	0.359	0.391	0.616

T表示气温，下标表示月份

由表可见，以长春5—9月气温和表示热量条件与产量的关系最好。以下我们均用5—9月气温和来讨论低温冷害的强度。

怎样表示东北粮豆产量的减产与否呢？脉动产量可以表示丰歉，比上一年增产或减产也可以用来表示丰歉，我们就采用二者的平均来表示丰歉，称为丰

为了讨论气象要素和产量的关系，我们计算了长春5—9月气温和东北5—9月平均降水量与东北总产的相关系数（分别为0.267和-0.620）。从相关系数来看，东北地区平均雨量和产量存在着密切关系，其信度达0.001，即多雨减产，少雨增产。长春5—9月气温和东北总产相关不明显，是由于东北总产有很明显的趋势变化。如不消除这种趋势变化，就很难分析出气温和产量的关系。

我们将东北总产进行滑动平均并称为趋势产量。又计算了东北趋势产量与东北5—9月平均降水量滑动平均和长春5—9月气温滑动平均的相关系数（分别为-0.955和-0.031）。东北趋势总产与东北5—9月平均降水量滑动平均有着很密切的关系，图1给出了这两条曲线。

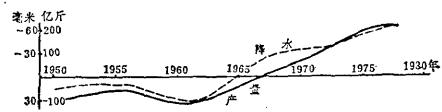


图1 东北趋势产量距平与5—9月平均降水量距平滑动平均变化曲线

我们将东北总产扣除趋势产量称为脉动产量，脉动产量可以较好地代表丰歉的情况。也计算了脉动产量与气温、降水的相关系数，其结果分别为0.616和-0.179。这说明长春5—9月气温与东北丰歉关系很密切，其信度达0.001，即高温年丰收，低温年歉收。而逐年降水量多少对丰歉影响极小。

歉收年气温偏低，热量条件差，什么样的热量条件和丰歉关系最密切呢？我们又计算了长春无霜期、大于10°C积温、5—9月各月气温和6—8、6—9及5—9月气温和与东北脉动产量的关系，其结果见表1。

歉产量。

什么样的温度算低温冷害，气温达到多少会造成减产或严重减产呢？我们把1949—1978年30年间5—9月气温和为负距平的年份按距平绝对值大小进行排列，并用最优二分割法进行分割。计算表明，以距平值-1.3°C为界最合适。即长春5—9月气温和≤

93.4°C就会由于低温而造成减产或平产；历史上共有8年其中7年减产，1年平产，平均丰歉产量为-57。而长春5—9月气温和>93.4°C并为负距平的共7年，这7年中只有1年减产，6年增产。用F检验，得F值为14.85，即有99.9%的把握认为用这个分界，对丰歉产量差异是显著的。这样就可以把长春5—9月气温和93.4°C，距平-1.3°C或5—9月积温少40°C作为东北地区低温冷害的临界指标。再进一步可以把长春5—9月气温和91.4°C、距平-3.3°C或5—9月积温少100°C作为严重低温冷害的指标，历史上长春5—9月气温和≤91.4°C的共5年，丰歉产量均为负值，平均为-67，这5年就是东北所公认的5个低温冷害年（1954、1957、1969、1972、1976年）。而长春5—9月气温和在91.4—93.3°C之间为一般低温冷害年，共有3年（1953、1960、1971年），2个歉年，1个平年，平均丰歉产量为-41。长春5—9月气温和在93.4—94.6°C之间为稍冷年，共有7年（1956、1964、1965、1966、1968、1973、1974年）。

严重低温冷害年，东北地区23个站平均5—9月气温和的距平为-4.1°C，有96.36%的站次为负距平。一般低温冷害年，23个站平均5—9月气温和的距平为-1.2°C，有78.26%的站次为负距平。稍冷年，23个站平均5—9月气温和的距平为-0.4°C，仅60.69%的站次为负距平。

东北地区产量有准3年周期，我们以当年产量减去前两年中产量高的一年产量作为减产值。这样东北解放以来5个严重减产年粮、豆平均减产89亿斤，平均减产15.2%。其中黑龙江省减产最重，平均减产20.3%；吉林省次之（17.3%）；辽宁省减产最少（11.0%）。

我们曾指出，东北地区受低温冷害的程度，与当地5—9月气温高低及水稻种植面积有关，气温低的地方易遭受低温冷害，减产幅度也大，水稻种植面积愈大愈易遭受低温冷害。玉米是东北最主要的农作物，其产量接近粮食产量的一半，玉米在低温冷害年减产幅度与当地5—9月多年平均气温和有密切关系，其相关系数高达-0.82，其信度 $\alpha=0.001$ ，这说明气温低的地方减产幅度大，气温高的地方减产幅度小。

经计算表明低温冷害对水稻影响最大，旱田作物中以高粱最怕低温冷害，严重低温冷害年大豆的减产幅度比玉米大，谷子受低温冷害影响较小，而小麦（主要生长期在4—7月）。基本上不受5—9月低温冷害的影响。

三、冷害的群发性和气温的周期

根据上述低温冷害标准，用长春1909—1979年71年资料来看，可以得到9个严重低温冷害年，即1912、1913、1915、1918、1954、1957、1969、1972、1976年；9个一般低温冷害年，即1909、1910、1911、1923、1940、1945、1953、1960、1971年。仔细分析就可以看到低温冷害有集中的倾向，即所谓群发性。低温冷害主要集中在1909—1918、1953—1972年这两个时段。有88.89%的严重低温冷害年、66.67%

一般低温冷害年都集中在这30年中。在这两个时期中低温冷害发生机率为43.75%，也就是不到两年半就发生一次低温冷害；严重低温冷害发生机率为25%也就是四年就发生一次。前一段低温冷害发生机率竟高达70%，而后一段为35%。就是在这两段时期内低温冷害也不是均匀分布的，如1909—1913年连续5年，年年发生低温冷害；1953—1960年8年中有4个低温冷害年；1969—1972年4年中就有3个低温冷害年。这充分说明了东北地区低温冷害有群发性，它反映了东北5—9月气温有明显的冷暖期。1909年以来，东北大约经历了两个冷期两个暖期：1909—1918年为冷期，1919—1952年为暖期，1953—1974年为冷期，1975年以来为暖期。低温冷害集中的两个时期正好是冷期，在暖期低温冷害发生机率就很小，两个暖期的39年中共发生了1个严重低温冷害，3个一般低温冷害，冷害发生机率仅10.26%，也就是大约十年发生一次冷害，只有冷期发生冷害的1/4。

分析东北地区23个站1881年以来近百年5—9月气温资料，发现有明显的周期性。我们按下列公式计算了23个站5—9月气温的功率谱，粗略的功率谱估计为：

$$\begin{aligned}\hat{S}_0 &= \frac{1}{2m} (C_0 + C_m) + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m-1} C_i \\ \hat{S}_k &= \frac{C_0}{m} + \frac{2}{m} \sum_{i=1}^{m-1} C_i \cos\left(\frac{mk\pi}{m}\right) + \frac{1}{m} C_m (-1)^k \\ \hat{S}_m &= \frac{1}{2m} [C_0 + (-1)^m C_m] + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m-1} (-1)^i C_i\end{aligned}$$

其中 C_τ 为落后自协方差

$$C_\tau = \frac{1}{n-\tau} \sum_{i=1}^{n-\tau} (x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x})$$

其中 τ 为落后时间间隔， $\tau = 0, 1, 2, \dots, m$ ； m 为最大滞后步长； \bar{x} 为时间序列的平均值。

为了光滑起见，对谱取三点加权光滑平均的功率谱为：

$$\begin{aligned}\hat{S}_0 &= 0.54\hat{S}_0 + 0.46\hat{S}_1 \\ \hat{S}_k &= 0.23\hat{S}_{k-1} + 0.54\hat{S}_k + 0.23\hat{S}_{k+1} \\ \hat{S}_m &= 0.46\hat{S}_{m-1} + 0.54\hat{S}_m\end{aligned}$$

若时间序列没有明显持续性，即 $C_1 < 0.0$ ，或 $C_1 < C_2$ 时可用白色噪音谱线进行检验，其值为：

$$\bar{s} = \frac{mX^2}{2n-1.5m} \sum_{k=1}^m \hat{S}_k / m$$

$$X^2_{0.05} = \frac{2n}{m} - 0.65 + 2.326 \sqrt{\frac{2n}{m} - 1}$$

$$X^2_{0.01} = \frac{2n}{m} + 0.70 + 3.289 \sqrt{\frac{2n}{m} - 1}$$

\bar{s} 不随 k 变化。

若时间序列有明显持续性，即 C_1 有较大正值， $C_1 > 0.0$ 同时 $C_1 > C_2$ 时，功率谱的检验则用红色噪音谱线，其值为：

$$Sk' = \bar{s} \left(\frac{1 - C_1^2}{1 + C_1^2 - 2C_1 \cos(\frac{\pi h}{m})} \right)$$

式中 \bar{s} 就是白色噪音谱线。

表 2

站名	海拉尔	呼玛	黑河	齐齐哈尔	海伦	伊春	佳木斯	哈尔滨	牡丹江	乌兰浩特	白城	通辽	双辽	长春	吉林	延吉	通化	四平	辽阳	沈阳	营口	丹东	大连
长周期	无	无	无	23.33	>70	无	无	>70	>70	无	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	
短周期	2.26	3.50	3.50	2.92	无	4.67	4.67	3.18	3.04	3.18	3.04	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.04	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	

由表可见，除了黑龙江北部外，东北大部分地方有大于 70 年的长周期和 3.18 年左右的短周期。

将东北地区 23 个站 5—9 月气温进行自然正交展开，第一个分量占 65.97%，第二个分量占 13.81%，这两个分量累计占 79.78%。对于第一分量及第二个分量的时间部分进行谱分析，发现第一分量的 3.18 年周期和 >70 年长周期是明显的，第二分量的各种周期均通过 0.05 信度检验，最主要的周期是 4.67 年。

进一步分别计算东北中部、南部 17 个测站和北部 6 个测站的功率谱表明，第一分量的功率谱可以很好地代表东北中、南部 17 测站的功率谱（相关系数为 0.786，超过 0.001 的信度）。而第一分量和第二分量的功率谱都一定程度上反映了东北北部 6 个测站的功率谱，但相关程度不及中、南部第一分量的相关程度好。

四、低温成因初步分析

东北地区低温冷害是大尺度现象，它与环流、海温有密切联系。影响东北地区夏季气温的因素有两个方面，即来自极地的冷空气和来自副热带地区的暖空气。研究表明，典型冷年与典型暖年 5—9 月各层平均图都有明显差异，最主要的特征是高度场的距平主要呈纬向分布，地面、500 和 100 毫巴，都是低温年高纬正距平、中纬负距平，低纬正距平；高温年则相反，高纬负距平，中纬正距平，低纬负距平。分析海温可以得到低温年赤道和低纬暖，中纬冷；高温年赤道和低纬冷，中纬暖，海温距平也具有纬向分布的特征。计算东北 5—9 月气温与东北地区上空高度场之间的相关，发现两者有较好的正相关，特别是 500 毫巴高度场的相关更明显。

我们目前没有多年详尽的半球气温资料，借助于气温与海温和 500 毫巴高度场之间的关系，可以认为东北 5—9 月为典型低温年、高温年时，北半球气温距平场也具有纬向分布。东北低温年赤道和低纬暖、中纬冷，极地暖；东北高温年赤道和低纬

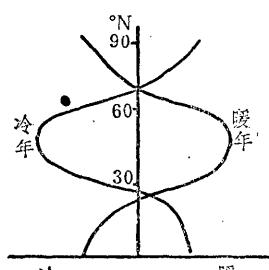


图 2 典型冷、暖年北半球气温距平示意图

我们计算了东北地区 23 个站 1881—1970 年 5—9 月气温的功率谱，为了清晰起见，分别讨论它们最明显大于 15 年的长周期和最明显小于 15 年的短周期。表 2 给出了计算结果。

冷，中纬暖，极地冷，如图 2 所示。

这种气温纬向分布又是怎样造成的呢？典型低温年极地是暖的，说明极地没有冷空气堆积，极地冷空气时常向中纬扩散，而赤道是暖的表明南半球冬半年冷空气较弱，不能把赤道辐合线推到较高的纬度，因此副高就偏南，不利于暖空气向北输送，因而东北气温就低。反之，典型高温年，冷空气在极地堆积，很少有强冷空气南下，南半球冷空气势力较强，赤道辐合带时常推到较高纬度，副高偏北，有利于暖空气北上，所以东北气温就高。另外，从 500 和 100 毫巴图上来看，典型低温年东北处于超长波槽控制，高温年处于超长波脊控制，这就更加强了东北地区气温的冷暖。

为了进一步研究 5—9 月各月冷暖原因，我们又计算了长春 5—9 月逐月气温、日照和吉林省降水之间的关系，其结果由表 3 给出。

表 3 5—9 月逐月气温、降水和日照之间相关系数

	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
气温与降水	-0.571	-0.588	-0.170	-0.241	-0.415
气温与日照	0.473	0.802	0.378	0.159	0.406
降水与日照	-0.571	-0.889	-0.512	-0.771	-0.758

由表 3 可见，5、6 月气温与降水和日照相关很好，5、6 月低温、少日照、多雨往往同时发生，这是因为 5—6 月多冷涡天气。而冷涡的多少主要取决于鄂霍次克海高压或雅库次克阻塞高压的强度，这在 500 毫巴月平均图上反映也是十分明显的。在盛夏 7、8 月气温与降水、日照关系并不好，这是因为盛夏降水有两大类：一类是冷涡天气，多雨、少日照、低温同时出现；另一类是台风等南来气旋，它们活跃北上进入东北，带来多雨和高温天气。7、8 月高温时东北经常为超长波脊所控制，588 线在 120—130°E，暖空气可以沿副高边缘北上进入东北地区，而北方冷空气很少进入东北区，所以东北地区偏暖。7、8 月低温时，东北经常为超长波槽所控制，副高呈条状或偏东，副热带暖空气不易进入东北地区，而北方冷空气却可经常进入超长波槽，所以东北低温。东北 9 月份冷暖主要取决于强冷空气南下的早晚，强冷空气南下早，东北冷，强冷空气南下晚，东北暖。