

# 棉花产量丰歉气象指标和评价模型

钱拴 王建林

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

**提要** 该文在研究影响棉花产量丰歉的主要气象因子的基础上,建立棉花产量丰歉气象影响指标,它较好地反映了气象条件对棉花生长发育的利弊影响。将棉花全生育期内主要影响因子以相关系数为权重,适当分类组合,得到5种组合因子,利用该因子建立的棉花产量丰歉评价模型,考虑了全生育期气象要素对棉花产量的综合影响,评价检验效果较好。

**关键词** 棉花产量 气象因子 丰歉指标 评价模型

## 引言

棉花生产在我国国民经济中占有十分重要的地位,及时、准确地掌握气象条件对棉花生长发育的利弊影响,了解棉花生长发育状况和产量丰歉,对于国家指导棉花生产、制定收购、调配和进出口政策都具有十分重要的意义。但是,目前在农业气象情报业务服务中,评价气象条件对农作物生长发育的利弊影响以及产量的丰歉时,仍处于定性评价阶段,尚缺乏定量化。本文旨在研究影响中国棉花生长发育的主要气象因子,建立影响棉花产量丰歉的气象指标和评价模型,以提高农业气象业务服务质量。

## 1 资料来源及处理方法

### 1.1 研究区域的确定

我国棉花种植地域很广,但各产区因气候条件、土壤类型、品种、种植制度等不同,产量水平差异很大。新疆是我国第一产棉大区,其产量占全国的21.5%;河南位居第二,占16.6%;江苏、湖北、山东各占11.5%、11.4%、10%;河北、安徽、湖南分别占6.7%、6.4%、5.2%;江西、四川、山西、浙江、陕西等省棉花总产占全国的9.4%;而甘肃、辽宁、京津地区、上海、广西、贵州、云南等省(区)种

植较少,其总产之和仅占全国的1.2%。本文以占全国棉花总产量约99%的前13个产棉省(区)为主要研究对象。

### 1.2 资料处理

根据站点的代表性和资料的完整性,在13个主产棉省(区)共选取了38个代表站。所用的气象资料为各代表站1961~1995年3~11月各旬平均气温、最高气温、最低气温、降水量和日照时数。利用式(1)计算出历年每一个省(区)各气象要素逐旬平均值:

$$M_i = \sum_{j=1}^n E_{i,j} / n \quad (1)$$

式中  $M_i$  代表第  $i$  年某省(区)某气象要素旬平均值,  $i=1, 2, \dots, 35$ ;  $E_{i,j}$  为第  $i$  年第  $j$  个代表站的气象要素,  $j=1, 2, \dots, n$ ,  $n$  为某一个省(区)的代表站个数。

棉花总产是由单产<sup>[1,2]</sup>和面积构成的,气象条件主要影响的是棉花单产,因此研究中所用的产量资料为13个主产棉省(区)1961~1995年棉花单产。棉花单产一般可分为趋势产量和气象产量两部分。由于棉花单产水平低而且年际波动大,因此在处理产量资料时选用的方法非常重要。本文利用滑动平均、线性和非线性拟合等多种方法提取趋势产量,进行比较后选用3年滑动平均法处理产量资料,使分离出的趋势产量和气象

产量比较合理。用式(2)计算趋势产量,用式(3)计算相对气象产量,得到 13 个省(区) 1963~1995 年各年趋势和相对气象产量,其表达式为

$$\bar{Y}_i = \sum_{k=0}^2 Y_{i-k} / 3 \quad (2)$$

$$\Delta Y_i = (\bar{Y}_i - Y_i) / \bar{Y}_i \times 100 \quad (3)$$

式(2)、(3)中  $\bar{Y}_i$  为某省(区)第  $i$  年的趋势产量,  $Y_{i-k}$  代表第  $i$  年以及第  $i$  年的前  $k$  年的棉花单产;  $\Delta Y_i$  为第  $i$  年的相对气象产量,  $Y_i$  为第  $i$  年棉花单产。

## 2 主要影响因子及其产量丰歉指标的确定

### 2.1 影响棉花产量的主要气象因子

棉花的产量丰歉与棉花产前、产中、产后某些时段的气象条件有着密切的关系。为了普查出影响棉花产量形成的所有因子,本文以旬气象要素为基础,利用式(4)、(5)计算出任意时段的气象要素,然后再与式(3)计算出的  $\Delta Y_i$  进行相关分析,普查与棉花产量相关显著的气象因子,其表达式为

$$\text{气温、日照时数: } TS = \sum_{j=1}^m x_j / m \quad (4)$$

$$\text{降水量: } R = \sum_{j=1}^m x_j \quad (5)$$

式(4)、(5)中  $x_j$  为旬平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数,  $m$  为连续旬数。

表 1 列出了影响中国棉花产量的主要气象因子。可以看出,全国大部分产棉省(区)春季、初夏的气温与产量呈正相关,说明春季回暖偏早,播种至现蕾阶段气温较高的年份,利于棉花适时播种和棉苗生长;8 月至收晒期间的平均气温、日照时数与产量呈正相关,此阶段全国棉花正处于产量形成的关键时期,光、热较好的天气条件利于棉花开花授粉和纤维发育,提高成铃率、铃重和衣分。但各产区又有自己的不同特点。新疆棉花主要靠灌溉满足对水分的需求,春、夏降水偏多的年份,反而易出现低温、风沙天气,造成棉花冻伤或死苗,所选的降水因子也反映出与棉花

产量呈负相关关系。新疆棉花 3 月下旬至 4 月上旬处于整地、播种阶段,晴好的天气利于棉花顺利播种出苗,相关分析结果也表明此阶段日照时数与棉花产量呈正相关。黄河流域棉区春旱是影响棉花播种出苗的主要不利因素,4 月份降水偏多的年份,土壤墒情好,利于棉花适时播种出苗,从表 1 可以看出,河北、山东、河南所选的 4 月份降水量与棉花产量也呈正相关。长江中下游棉区秋季降水偏多的年份,易造成棉花烂铃、僵桃,江苏、湖北、湖南、江西、浙江等省此阶段的降水量也表现出与产量呈负相关关系。陕西棉花主要种植在关中平原地区,棉花生产的主要问题是夏、秋降水偏多、光照不足,造成蕾铃脱落较多,吐絮不畅,由表 1 也可以看出,陕西 6~10 月日照时数、平均气温与产量呈正相关,降水与产量呈负相关。各主产棉省(区)的分析结果表明,相关显著的气象要素基本都是影响各省(区)棉花产量形成的主要气象因子。

### 2.2 主要影响因子的产量丰歉指标

我国棉花单产水平很低。1964 年 13 个主产省(区)的平均棉花单产为 360 kg/hm<sup>2</sup>, 1997 年为 870 kg/hm<sup>2</sup>。以  $\Delta Y_i \geq 5\%$  为丰年标准,  $\Delta Y_i \leq -5\%$  为歉年标准,产量增减绝对量也仅在 18~43.5 kg/hm<sup>2</sup> 之间,这一指标足可以满足评价的要求。

棉花是喜温好光作物,其生长发育要求一定的环境条件,而且不同的生育阶段要求的条件不同。如花铃期温度为 25~30℃。土壤相对湿度为 70%~80%。光照充足的天气,适宜棉花开花结铃,提高成铃率;日平均气温达 30℃以上,蕾铃脱落量增加,32℃以上脱落严重。本文依据产量丰歉标准,先确定 1963~1995 年中所有的丰产年和歉收年,在不考虑其他气象因子的影响下,计算丰产年和歉收年对应的某一主要影响因子的平均值,将其作为该因子的产量丰歉指标(表 1)。

利用此方法计算的主要影响因子产量丰歉指标,仅是丰产年或歉收年对应的气象要

素的多年平均状况。这一指标虽与棉花的生物学指标有一些差异,但也有一定的指示意义,基本能够反映产棉省(区)气象因子对棉花产量的利弊影响。如新疆棉花7月下旬处于花铃期,确定的丰歉指标表明:当旬平均温度 $\geq 25.8^{\circ}\text{C}$ 时,利于棉花开花结铃,一般情况

下棉花呈增产趋势;当旬平均气温 $\leq 24.6^{\circ}\text{C}$ 时,低于棉花花铃期要求的适宜温度,一般情况下棉花呈减产趋势。这与棉花花铃期要求的温度指标基本一致。当然棉花花铃期日平均气温不能高于 $30^{\circ}\text{C}$ ,高于此温度,将会影响棉花开花授粉。

表1 影响我国棉花产量的主要气象因子及其产量丰歉指标

	因子	相关系数	丰/歉指标	相关系数	丰/歉指标	相关系数	丰/歉指标
新疆	平均气温	7下:0.3182	258/246				
	最高气温	5上中:0.3169	306/294	6下:0.3491	354/344	8下:0.2955	333/326
	最低气温	6中:0.354	131/118				
	降水量	4下5上:-0.2972	58/110	6中:-0.3451	34/79	10上:0.3767	27/5
	日照时数	3下4上:0.4093	726/662	6上:0.3021	977/944		
河南	平均气温	8下:0.3855	256/242	11上中:0.3731	99/91		
	最高气温	6下:0.3206	359/354	8下:0.4417	342/327	9中:0.3132	307/297
	最低气温	6下:0.3946	187/177	10上:0.3171	92/86	11上:0.3270	21/9
	降水量	8下:-0.3072	405/225	4月:0.2997	330/193	10上:0.4289	231/162
	日照时数	5上:0.3581	752/616	8上:0.4691	773/658	8下:0.3467	739/626
江苏	平均气温	8上:0.4184	262/254				
	最高气温	4中:-0.3220	231/262	8月:0.2997	337/327		
	最低气温	4中下:0.4047	66/57	5中下:0.3827	125/114	8上:0.3738	227/220
	降水量	4上中:0.3541	464/301	8中下:-0.4082	637/1189	9中下:-0.3672	407/860
	日照时数	4中:-0.319	547/689	8月:0.4606	837/655	10下11上:0.3431	694/580
湖北	平均气温	3月:0.3446	96/90	10下11上:0.3420	150/143		
	最高气温	3月:0.3766	212/197	8下:0.5061	353/334	9下:0.3317	301/291
	最低气温	10下11上中:0.4292	57/46				
	降水量	5中:0.3457	571/392	8上中:-0.3035	654/1159	9下:0.3148	288/192
	日照时数	5中下:-0.4482	557/658	8下:0.3705	868/691		
山东	平均气温	4中下:-0.4776	153/165	11上中:0.3597	88/80		
	最高气温	4下:-0.3047	269/290	11中:0.2931	175/164		
	最低气温	3下4上:-0.3601	-5/6				
	降水量	4上:0.5158	109/27	6月:0.3723	813/605		
	日照时数	6上:-0.3633	864/948	7中下:0.3397	780/665	11上:0.3776	657/490
河北	平均气温	6下7上:0.3600	266/259	7下8上:0.3272	267/255		
	最高气温	5上:0.3283	318/303	5下:0.3935	353/336	7下8上中:0.4619	345/335
	最低气温	6下7上:0.433	187/180				
	降水量	4月:0.3419	286/119	6中:0.3327	299/107		
	日照时数	7下8上:0.4127	680/619	9中:0.3020	754/680		
安徽	平均气温	6中:0.2938	252/244	11中:0.3347	120/106		
	最高气温	6中:0.3933	333/322				
	最低气温	3月:0.4062	19/12	6中下:0.3224	196/189		
	降水量	10上:0.4822	478/127				
	日照时数	4中下5上:0.3985	582/491				
湖南	平均气温	6中:0.3708	256/244	8下:0.3275	276/272	10下11上:0.3077	161/149
	最高气温	7上:-0.3178	346/365	8下:0.3993	350/340	9下10上:0.3147	298/287
	最低气温	3中:0.339	36/15	6月:0.5923	200/181		
	降水量	8下:-0.4658	196/698	9上:-0.3574	197/575	10下:-0.4285	135/352
	日照时数	8下9上:0.3355	718/629	10下:0.3579	615/468		

(续表 1)

江西	平均气温	8 <sub>上</sub> : - 0.2934	293/307	9 <sub>中下</sub> : 0.3329	243/227		
	最高气温	8 <sub>上中</sub> : - 0.3023	361/373	9 <sub>下</sub> 10 <sub>上</sub> : 0.3523	323/309		
	最低气温	9 <sub>中下</sub> : 0.2952	182/167				
	降水量	5 <sub>月</sub> : - 0.5409	2213/3443	6 <sub>中下</sub> : - 0.3802	742/2852	8 <sub>上</sub> : 0.4036	583/163
	日照时数	8 <sub>上</sub> : - 0.3042	802/983				
四川	平均气温	7 <sub>中下</sub> : - 0.3485	256/260	9 <sub>上</sub> : 0.3409	237/221	10 <sub>下</sub> : 0.4004	160/151
	最高气温	3 <sub>下</sub> : 0.4013	231/209	7 <sub>下</sub> : - 0.4979	331/340		
	最低气温	3 <sub>上</sub> : 0.4524	26/10	8 <sub>下</sub> 9 <sub>上</sub> : 0.3271	184/178	10 <sub>月</sub> : 0.5186	120/108
	降水量	3 <sub>中</sub> : - 0.3434	38/94	5 <sub>下</sub> : 0.4319	451/241	9 <sub>上中</sub> : 0.4299	1449/866
	日照时数	3 <sub>中</sub> : 0.5226	373/254	3 <sub>下</sub> : 0.3271	387/298	6 <sub>中</sub> : 0.3709	460/412
山西	平均气温	3 <sub>下</sub> 4 <sub>上</sub> : 0.299	115/106	10 <sub>下</sub> : 0.3153	122/104		
	最高气温	3 <sub>下</sub> 4 <sub>上</sub> : 0.4558	246/221	7 <sub>上</sub> : - 0.3491	347/368		
	最低气温	10 <sub>下</sub> : 0.3887	19/ - 11				
	降水量	8 <sub>上</sub> : 0.3901	273/173	9 <sub>上中</sub> : - 0.4055	429/736		
	日照时数	5 <sub>中下</sub> : - 0.353	769/842	9 <sub>中</sub> : 0.3567	687/534		
浙江	平均气温	3 <sub>月</sub> : 0.4910	96/87	11 <sub>上中</sub> : 0.3524	143/129		
	最高气温	3 <sub>上</sub> : 0.3637	204/176	8 <sub>下</sub> : - 0.3304	339/341	10 <sub>下</sub> : - 0.3523	247/267
	最低气温	4 <sub>下</sub> 5 <sub>上</sub> : - 0.4126	98/112				
	降水量	3 <sub>月</sub> : - 0.4068	871/1412	4 <sub>中</sub> : 0.3643	511/284	9 <sub>下</sub> : - 0.3347	247/528
	日照时数	3 <sub>月</sub> : 0.3744	440/344				
陕西	平均气温	6 <sub>下</sub> 7 <sub>上</sub> : 0.3170	255/244	8 <sub>中下</sub> 9 <sub>上</sub> : 0.3061	348/336	9 <sub>下</sub> 10 <sub>上</sub> : 0.3365	166/161
	降水量	7 <sub>中</sub> : - 0.3372	214/324	8 <sub>中</sub> : - 0.522	148/458	9 <sub>月</sub> 10 <sub>上</sub> : - 0.4149	128/1814
	日照时数	6 <sub>下</sub> 7 <sub>上</sub> : 0.4428	684/492	8 <sub>上中</sub> : 0.3541	62/646	9 <sub>月</sub> : 0.3684	473/393

注:  $r_{0.1,31} = 0.2917$ ,  $r_{0.05,31} = 0.3444$ ,  $r_{0.02,31} = 0.4036$ ,  $r_{0.01,31} = 0.4426$ , 温度: 0.1℃, 降水: 0.1mm, 日照时数: 0.1h

### 3 主产棉省(区)棉花产量丰歉评价模型

#### 3.1 模型建立

棉花单产由单位面积株数、单株铃数、铃重和衣分 4 要素组成。棉花的产量形成与棉花全生育期的气象条件均有一定的关系。苗期气象条件决定苗架的长势、每株果枝数的多少、蕾铃期气象条件决定单株铃数和铃重、裂铃吐絮期则关系到棉花纤维发育的好坏,决定衣分的多少。因此应通过一定的方法,将影响棉花产量的所有气象因子综合起来与产量建立关系,才能较好地反映全生育期气象要素对棉花产量的综合影响。为此,本文以相关系数为权重系数,将影响棉花产量的全生育期主要影响因子,经式(6)组合形成影响棉花产量的 5 种组合因子  $Z_i$ ,即全生育期平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数。

$$Z_i = \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} w_{ij} \quad (6)$$

其中  $x_{ij}$  为第  $i$  种组合因子中第  $j$  个主要影响

因子;  $w_{ij}$  为第  $i$  种组合因子中第  $j$  个主要影响因子的相关系数;  $n_i$  为第  $i$  种组合因子中主要影响因子的个数。对  $Z_i$  与产量  $\Delta Y_i$  求相关(表 2),表 2 与表 1 对比可以看出,棉花全生育期的 5 种组合因子与产量的相关性更为显著。

根据式(6)计算的 5 种组合因子,利用式(7),与式(3)计算的  $\Delta Y_i$  建立多元回归产量丰歉评价模型。

$$\Delta Y'_i = C + \sum_{k=1}^n (a_k x_k) \quad (7)$$

式(7)中  $\Delta Y'_i$  为  $\Delta Y_i$  的模型估算值,  $C$  为常数项,  $a_k$  为棉花全生育期组合因子的回归系数,  $X_k$  为棉花全生育期平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数,  $n$  为样本数,  $n = 1, 2, \dots, 33$ 。各主产棉省(区)的评价模型和相关的统计量见表 3。

从表 3 复相关系数和统计量  $F$  值来看,各产棉省区的模型均通过了 0.01 的显著性检验。

表 2 影响棉花产量的 5 种组合因子与产量的相关系数

	平均气温	降水量	日照时数	最高气温	最低气温
新疆	0.3182	0.5677	0.5279	0.4636	0.354
河南	0.4784	0.5353	0.6194	0.5117	0.5840
江苏	0.4184	0.6836	0.5624	0.3878	0.5903
湖北	0.5100	0.5893	0.6768	0.7056	0.4292
山东	0.5811	0.4869	0.6833	0.4990	-0.3601
河北	0.4010	0.4905	0.4762	0.5925	0.4330
安徽	0.4895	0.4822	0.3985	0.3933	0.6381
湖南	0.7337	0.5340	0.4963	0.5147	0.6006
江西	0.4259	0.6309	-0.3042	0.4392	0.2952
四川	0.6632	0.5242	0.6512	0.5380	0.6049
山西	0.5322	0.4896	0.4424	0.5499	0.3887
浙江	0.5562	0.5346	0.3744	0.4610	-0.4126
陕西	0.4644	0.5934	0.6695		

注:  $r_{0.1,31} = 0.2917$ ,  $r_{0.05,31} = 0.3444$ ,  $r_{0.02,31} = 0.4036$ ,  $r_{0.01,31} = 0.4426$ ,  $r_{0.001,31} = 0.5471$

表 3 主产棉省(区)棉花产量丰歉评价模型

样本数	复相关系数	模型	F	置信度
新疆 33	0.7535	$\Delta Y'_i = -76.3361 + 0.0601 T + 0.23 R + 0.266 S - 0.1212 X - 0.0093 N$	7.09	0.0003
河南 33	0.8262	$\Delta Y'_i = -124.683 + 0.0599 T + 0.036 R + 0.0295 S + 0.0854 X + 0.5088 N$	11.61	<0.0001
江苏 31	0.7747	$\Delta Y'_i = 6.2037 - 0.1726 T + 0.014 R + 0.0173 S + 0.2257 X + 0.0535 N$	7.5	0.0002
湖北 33	0.8655	$\Delta Y'_i = -132.698 + 0.3313 T + 0.0197 R + 0.0198 S + 0.3371 X + 0.3916 N$	16.12	<0.0001
山东 33	0.8368	$\Delta Y'_i = -55.813 + 0.8336 T + 0.0287 R + 0.1 S + 0.2075 X - 0.0884 X$	12.61	<0.0001
安徽 33	0.7997	$\Delta Y'_i = -293.791 + 0.0763 T + 0.0968 R + 0.0559 S + 0.4111 X + 0.2873 N$	9058	<0.0001
安徽 31	0.7737	$\Delta Y'_i = 28.78 + 0.1117 T + 0.001 R + 0.0416 S + 0.1014 X + 0.5533 N$	7.46	0.0002
湖南 33	0.8057	$\Delta Y'_i = -202.106 + 0.4803 T + 0.0074 R + 0.0108 S + 0.088 X + 0.5991 N$	9.99	<0.0001
江西 32	0.7536	$\Delta Y'_i = 4.9743 - 0.14 T + 0.0104 R - 0.0032 S + 0.5798 X + 0.1249 N$	6.84	0.0003
四川 33	0.7995	$\Delta Y'_i = -94.0285 + 0.6072 T + 0.0152 R + 0.0373 S + 0.07 X + 0.2176 N$	9.57	<0.0001
山西 30	0.8509	$\Delta Y'_i = 25.0795 + 0.5289 T + 0.0306 R + 0.0601 S + 0.4152 X - 0.0639 N$	12.69	<0.0001
浙江 33	0.7298	$\Delta Y'_i = -8.6526 + 0.7918 T + 0.0214 R - 0.0065 S + 0.031 X - 0.4495 N$	6.15	0.0006
陕西 33	0.6937	$\Delta Y'_i = -84.9506 + 0.2568 T + 0.0087 R + 0.0527 S$	8.97	0.0002

注: T:平均气温, R:降水量, S:日照时数, X:最高气温, N:最低气温,  $F_{0.01}^{(5,27)} = 3.78$ ,  $F_{0.01}^{(3,29)} = 4.54$

13 个省棉花产量丰歉评价模型建成以后,可在评价 13 个主产棉省(区)棉花产量丰歉的基础上,以各省(区)当年棉花面积占全国棉花面积的比例为权重,来评价全国棉花产量的丰歉。

### 3.2 模型检验

利用表 3 评价模型计算出历史模拟气象产量,根据丰歉标准,与实际气象产量的丰歉情况相比较,各主产棉省(区)棉花历史产量丰歉拟合准确率达 82% 以上。利用评价模

型对 1996 年和 1997 年的各主产棉省(区)以及全国棉花产量丰歉也进行了评价试验,结果表明除 3 个省(区)两年评价中有一年评价结果与实际情况有出入外,其余各省(区)两年产量丰歉评价结果与实际一致,全国棉花产量丰歉评价也符合实际情况。图 1 给出了新疆和全国棉花产量的历史拟合和外推评价试验结果,从此图可以看出,棉花产量的历史拟合效果较好,1996、1997 年棉花产量丰歉评价与实况基本一致。

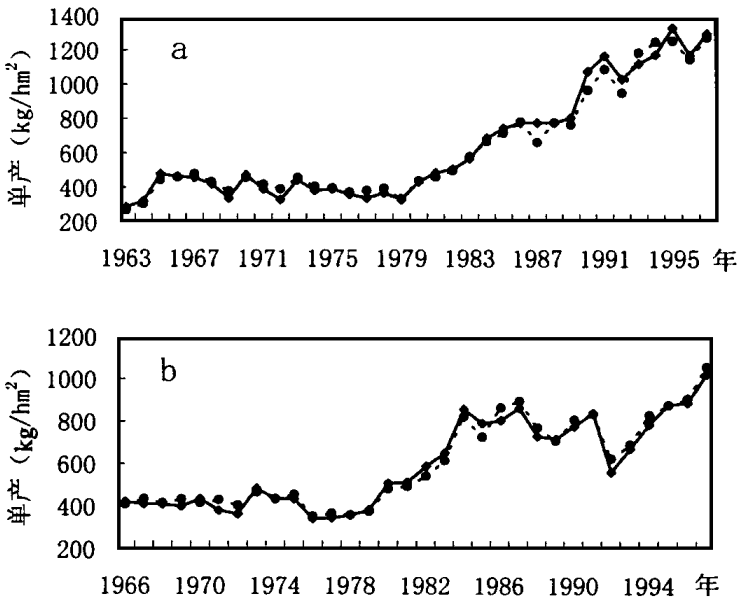


图 1 新疆自治区(a)及全国(b)棉花单产模拟图(实线:实产,虚线:拟合和外推)

### 4 结语

本文以产棉省(区)为研究对象,以旬气象资料为基础,全面系统地分析了影响中国棉花产量丰歉的气象因子。在建立棉花产量丰歉评价模型时,将主要影响因子适当分类组合,考虑了棉花全生育期内气象因子对棉花产量形成的综合影响,所建的棉花产量丰歉评价模型评价准确率较高,可以应用到农业气象情报业务中,为定量评价棉花产量丰歉提供依据。

但值得注意的是:主要气象影响因子的

产量丰歉指标仅是一个统计值,而且仅是在考虑单因子对产量影响的情况下计算的,实际上作物产量是多种气象因子共同影响的结果,因此该指标只是统计意义上的单因子指标。在评价气象因子对棉花产量丰歉的影响时,该指标仅供参考,还有待进一步的研究和完善。

### 参考文献

- 1 王建林,太华杰.中国粮食总产量结构分析与丰歉评估.气象,1998,24(12):7-12
- 2 张宇.近40年来我国粮食产量变化特征初步分析.中国农业气象,1995,16(3):1-4