

山东棉花产量旱灾损失评估模型

薛晓萍 赵 红 陈延玲

李鸿怡

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

(山东省气象学校)

提 要

采用统计方法,对棉花气象产量与气候因子进行统计分析,得到了各生育时段影响产量的主要降水因子和需水指标,从而根据当年的降水量对棉花产量因旱灾造成的损失程度进行评估,建立区域、省级棉花旱灾损失评估模型。

关键词: 棉花 气象产量 干旱 损失评估

引 言

棉花是山东的主要农作物之一,80年代其种植面积一般在1.3万公顷左右,居全国之首。进入90年代后,面积逐年减少,近几年棉花种植面积已下降到0.4万公顷,分析棉花面积减少的原因,主要是由于多年来棉花单产停滞不前,致使棉花生产投入大收益少。但这并不说明棉花产量已达到生产潜力的极限,其原因在于棉花生育期较长,且处于一年之中气象灾害多发时期,而山东又是我国气象灾害多发省份。在当前人类还不能完全改变、抵御自然灾害的情况下,气象灾害的发生必将抑制棉花生产潜力的充分发挥,从而阻碍了山东棉花生产的可持续性发展。而如何准确评估气象灾害对农作物造成的损失,至今尚未有一客观定量的方法。本文以旱灾对棉花的影响为例,通过分析棉花产量与各生育时段降水关系,对棉花因旱灾造成的损失进行评估,建立了相应的旱灾损失评估模型。

1 资料来源及处理方法

旱情及产量资料分别来源于山东省民政厅和统计局,资料年代为1959~1996年。资料的处理方法为首先将棉花产量按对其影响因素的性质分解为:随时间延长、生产水平提

高而不断上升的部分——趋势产量(y_t)和由天气气候变化引起的波动部分——气象产量(y_w),即 $y = y_t + y_w$ ^[1]。由于所用气象资料是以旬为步长,而作物生长发育具有一定的连续性,用独立的旬气象因子来描述气候对作物的影响,其生物学意义不明确,故对每个生育阶段的旬气象因子进行膨化处理,得到多个连续时段的因子,从而将气象信息量扩大。然后进行气象产量与气象因子相关、复相关普查,每一生育阶段选4个主要因子,并将气象产量与影响显著的降水因子进行模拟,从而阐明降水对棉花各生育阶段的影响程度。

2 干旱对山东棉花产量的影响

山东棉花生育期主要集中在4~10月份,由于生长期长,叶面积较大,特别是生长盛期正值高温季节,是需水较多的作物。据中国农业科学院棉花研究所试验,在每公顷产籽棉花3255~4496.3kg的产量水平下,每公顷棉田在棉花整个生长期中消耗6616.8~6918.75m³的水量。且从棉花的整个生长过程来看,棉花的各生育阶段,需水量不同,其总的需水规律为:前期少,中期多,后期又偏少^[2]。

由于山东农业用水主要靠自然降水,棉花全生育期需降水量 525~575mm,棉花产量与降水量关系密切,降水量的多少,对于干旱频繁发生的山东棉花生产来说尤为重要,若遇干旱将影响产量。山东民间常有“有收无收在于水”之说,也说明降水对产量的重要性^[3]。

分析山东省 1949 年以来干旱和成灾面积以及当年棉花减产情况,多数干旱面积大的年份,棉花均有较大减产,例如 1959、1961、1978、1981、1982、1983、1986、1989、1992 年,干旱面积分别为 3.6、2.5、2.1、3.3、4.2、3.1、3.8、4.1、4.7 万公顷,各年产量减产均在 4.3~19.3 万吨以上。但也有干旱面积较大的年份,棉花减产较少,这与干旱发生的季节不同有关。棉花虽需水量较大,但不同生育时段对水分的敏感度有异,即同样程度的干旱,所处的棉花生育期不同,对产量的影响也不同。由于棉花的最终产量是一个不断积累的动态过程,且整个生长期不同生育时段对最终产量的贡献并非均衡,因而要准确评价棉花旱灾损失量,必须对不同生育时段进行跟踪分析,以了解其对干旱的敏感度。通常棉花全生育期可分为 5 个生育阶段:播种~出苗、出苗~现蕾、现蕾~开花、开花~吐絮、吐絮~收获。

2.1 播种至出苗期

通过气象产量与气象因子的相关普查,影响棉花播种至出苗期的主要降水因子为 4 月上、中旬降水,其与气候产量模拟关系式为:

$$Y_w = -50.85 + 4.1235x - 0.0375x^2 \quad (1)$$

式中 x 为降水因子(下同)。

分析表明,此期降水 54mm 左右产量最高,低于 14mm 或高于 95mm 时均不利于棉花播种出苗。全省 1959~1996 年 38 年中,有 20 年(占 53%)达不到需水最低限度,仅有 1

年(占 2.7%)因降水过多而影响播种出苗,因而山东棉花播种期因干旱造成的影响远大于雨水过多的影响,水分不足是播种出苗阶段的主要矛盾。对于麦棉两熟棉播,无论是春套还是夏套,由于小麦蒸腾量大,土壤失墒更快,水分不足更显得突出^[4]。

若将常年平均降水量(R)视为正常年景的降水(下同),当年降水量以 R_1 表示,根据气候产量与播期降水因子的模拟关系[式(1)],正常年景下和当年降水对棉花产量的贡献值分别为 $18.4381\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $y_w(R_1)\text{kg}/\text{hm}^2$,则此期内因降水不足造成产量损失 $P_1(\text{kg}/\text{hm}^2)$ 为 $18.4381 - y_w(R_1)$,即:

$$P_1 = 69.2881 - 4.12359R_1 + 0.0375R_1^2 \quad (2)$$

2.2 出苗至现蕾期

影响棉花出苗~现蕾的主要降水因子为: $R_{上/6}$ 、 $R_{下/5}$ 、 $R_{上/5}$ 。5 月份棉花生长处于幼苗期,株体较小,根系和叶面积也小,所以这一阶段需水量相对少,田间耗水量占总耗水量的 15% 以下,其中有 80%~90% 的水分是被地面蒸发消耗,另外由于棉花苗期比较耐旱,对于纯作棉花来说,通过合理的中耕保墒措施,基本上能满足棉花生长发育对水分的需求。降水过多易引起棉苗徒长,不利于搭好丰产架子。因而,5 月上、下旬降水虽对产量有较大影响,但此期降水量多少不是主要矛盾。

6 月上旬棉花接近现蕾期,株体长大,需水量相对增加,而此期正处于汛期来临之前,干旱几率较高,因而气象产量与降水量呈显著直线相关,关系式为:

$$\hat{y}_w = -38.55 + 1.9566x \quad (3)$$

通过统计分析,6 月上旬降水量在 20mm 以上有利于棉花产量形成,常年 6 月上旬降水较少,低于此界限值而引起棉花受旱的几率为 53.8%。因而一般情况下,6 月上旬降水越多对产量越有利。

对于麦棉两熟的棉田,由于大部分时间处于麦棉共生期,而且小麦正处于蒸腾旺盛阶段,土壤失墒较快,水分不足是这一阶段棉花生长发育的主要限制因子,若要使棉花正常生长发育,麦套春棉需水量为150mm左右,麦套夏棉需水100mm左右,常年自然降水总量远达不到其要求,此期干旱对麦套棉影响较大,干旱严重时蕾期将推迟,或形成“小老苗”,从而影响最终产量。

按2.1中的求算方法(下同)苗期干旱造成的损失为:

$$P_2 = 45.3931 - 1.9566R_2 \quad (4)$$

式中, P_2 为苗期损失产量(kg/hm²), R_2 为当年6月上旬降水(mm)。

2.3 现蕾至开花期

棉花进入蕾期以后,不仅营养生长加快,生殖生长也开始,由于山东省此阶段气温上升较快,棉花茎、枝、叶生长旺盛,土壤蒸发量和株体蒸腾逐渐增大,因而耗水量增多,如果缺水,则棉花植株长势减弱,现蕾减少,对开花结铃均有一定影响。麦棉两熟的棉田,此时小麦已收割,光照通风等环境得以改善,是促进棉株生长发育、补回小麦影响造成损失的关键时期,只有供应充足的水分,才能保证棉花的正常生长发育。

从全省平均状况来看,6月下旬至7月上旬的降水对产量影响较大,二者关系式为:

$$\hat{y}_w = -85.2 + 1.6065x - 0.0054x^2 \quad (5)$$

此期间若有149mm左右降水,产量最高,低于69mm或高于228mm均不利于棉花生长。1959~1996年有34.2%的年份因降水过少使棉花受旱减产,雨水过多年份为2.8%。

若降水不足,每公顷将损失棉花:

$$P_3 = 104.6281 - 1.6065R_3 + 0.0054R_3^2 \quad (6)$$

式中, P_3 为棉花损失量(kg/hm²), R_3 为当年

6月下旬至7月上旬的降水量(mm)。

2.4 开花至吐絮期

花铃期是棉花一生中生长发育最旺盛时期,也是各种矛盾表现最集中时期。棉花本身生长发育的几个转折点,即由营养生长占优势转为营养生长和生殖生长同时并进,再转入以生殖生长占优势,都集中在这段时间内。花铃期棉花生理活动最强,因而耗水量也处于全生育期高峰,占总耗水量的45%~65%,通常每昼夜耗水达2.5~3m³。

花铃期山东正处于雨季,常年降水量为250~300mm,若时空分布均匀,完全能满足棉花生长发育需要。但是,由于受季风气候的影响,降水变率较大,常常时空分布不均,因而亦常有干旱发生。

从全省平均统计情况来看,棉花开花至吐絮期主要受8月中旬和8月下旬两时段的降水影响,其中8月下旬降水量与气候产量相关显著,关系式为:

$$\hat{y}_w = -22.95 + 0.6807x \quad (7)$$

当8月下旬降水达到34mm以上时,气候产量为正值,低于此界限值,则减产,常年因降水过少而使棉花减产概率在58%。降水不足对产量的影响为:

$$P_4 = 25.935 - 0.6807R_4 \quad (8)$$

式中, P_4 为棉花因旱减产(kg/hm²), R_4 为当年8月下旬降水量(mm)。

2.5 吐絮以后

棉花进入吐絮期以后,株体长势减弱,由于此期气温逐渐降低,叶片蒸腾作用变小,因而对水分的要求也逐渐减少,耗水量占总耗水量的20%以下。山东省这一阶段处于旱季,空气湿度低,尽管后期需水不多,若土壤水分不足,将导致植株早衰,棉铃生长受到抑制,提前开铃,铃重减轻,降低产量和品质。对于麦棉两熟的棉田,由于晚桃较多,后期如果遇到旱,对产量影响更大。

统计表明吐絮期内对产量影响较大的降

水因子有9月上旬和10月上旬的降水,棉花气候产量与9月上旬降水(x_1)达显著复相关,与10月上旬降水(x_2)达显著单相关,

$$\hat{y}_w = -30.45 + 2.0145x_1 - 0.01305x_1^2 \quad (9)$$

$$\hat{y}_w = -18.3 + 1.4694x_2 \quad (10)$$

经统计,9月上旬降水在77mm左右、10月上旬13mm以上,对产量形成有利,气候产量增加。9月上旬降水量低于17.0mm或高于137.5mm、或10月上旬降水低于12.5mm时,棉花气候产量都将降低,常年9月上旬干旱几率为52%,10月上旬棉花干旱的几率为62%。

此期因干旱造成的棉花损失为:

$$P_5 = 58.1138 - 2.0145R_5 + 0.01305R_5^2 \quad (11)$$

$$P_6 = 20.5716 - 1.4694R_6 \quad (12)$$

式中, P_5 为棉花9月上旬因旱减产量(kg/hm^2), P_6 为棉花10月上旬因旱减产量(kg/hm^2), R_5 为9月上旬降水量(mm), R_6 为10月上旬降水量(mm)。

从统计结果看,尽管此期需水相对减少,由于处于干旱少雨季节,因降水量偏少而引起减产的概率较大,且其影响程度远大于因降水过多引起减产的程度。可见,此期产量减少多数是由干旱引起的,且减产幅度较大。由于山东秋季降水稀少,在一般情况下,只要光温适宜,各棉区吐絮期降水量越多,则对棉花产量形成越有利。

3 棉花生产旱灾损失评估模型

3.1 棉花不同生育时段旱灾敏感度分析

根据以上关于产量与各生育时段降水关系分析,棉花的整个生长期中,各生育阶段降水均对产量影响较大,且关系密切,降水不足将发生水分胁迫。根据2.1~2.5中的棉花各生育时段产量损失模型 $P_i(R_i)$,假定当年某个生育时段降水量为零,则平均每天公顷棉田产量最大损失量 Q_i ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)为:

$$Q_i = P_{i(0)}/m_i$$

式中, m_i 为某个生育时段的天数(d)。

$$i = 1, 2, \dots, 6$$

若以 Q_i 代表其相应生育时段内的棉花受旱敏感度,不同生育时段棉花受旱敏感度见表1,从表1中可以看出,在棉花整个生长期中,现蕾至开花期和吐絮前期对旱灾最敏感,此两时段若遇干旱,将对产量造成较大影响。另外,由2.4中分析,开花~吐絮期为需水高峰,但其对受旱敏感度较低,主要是因为常年此生育时段正处于雨季,降水较多,若降水量适度减少有利于降低田间湿度,减少烂铃率,相应地增加成铃数,提高产量。

表1 棉花不同生育时段旱灾敏感度

生育期/(旬/月)	敏感度
播种~出苗(上、中/4)	3.46
出苗~现蕾(上/6月)	4.54
现蕾~开花(下/6~上/7)	5.23
开花~吐絮(下/8)	2.59
吐絮以后(上/9)	5.81
(上/10)	2.06

3.2 棉花单站旱灾损失评估模型

棉花生长期较长,跨越春、夏、秋三个季节,若干旱只发生在某一季节或某生育时期,产量损失不会太大,发生春夏或夏秋连旱将减产较大,若春、夏、秋三季连旱,则损失更加严重。根据3.1~3.5中所得到的棉花不同生育时段因降水不足产量损失模型,单站每公顷棉花因旱损失模型为:

$$S = K \cdot \sum_{i=1}^6 P_i(R_i) \quad (13)$$

式中 K 为每千克棉花价格。

3.3 棉花区域旱灾损失评估模型

前面已建立了单站旱灾损失评估模型,由于山东地域辽阔,棉花种植区域较为分散,各地降水时空分布极不均匀,同一时期内,各

棉区的旱情不尽一样,即使同一棉区内亦并非所有棉田均发生干旱,因而,要较客观地对其棉花生产风险进行评估,必须分区进行。根据气候区划和棉花的生育特点,通常分为鲁西北、鲁北、鲁中、鲁东、鲁西南和鲁南6个棉花种植区域,每区域评估模型表示为:

$$S = M \cdot K \cdot \sum_{i=1}^6 P_i(R_i) \cdot C_i \quad (14)$$

式中 M 为区域植棉面积, C_i 为旱灾覆盖系数。则全省旱灾损失评估模型应综合为:

$$S = M \cdot K \cdot \sum_{j=1}^6 L_j \cdot \sum_{i=1}^6 P_{ij}(R_{ij}) \cdot C_{ij} \quad (15)$$

式中 M 为全省植棉面积, L_j 为各区种植面积占全省总面积的权重系数

4 小结

少雨干旱对棉花各生育时段生长发育均有不同程度的影响。70年代中期以后,山东干旱频率呈增加趋势,且随着干旱频率的增加,干旱程度有所上升。对于农业用水主要来源于自然降水的山东,水资源缺乏日渐严重,

农业生产风险评估更显其必要性。因而可根据上述所建的模型,结合长期天气预报,及早对各种作物不同生育时段及全生育期可能遭受的风险进行评估,及时准确地将有关信息提供给决策者,为减灾防灾提供科学依据,降低决策过程中的不确定因素,使损失减少到最低限度。另外亦可为扩展农业保险事业服务,既有利于保险公司拟定合理的保险费率,稳定保险经营,同时又使农民利益得以保护。

参考文献

- 1 气候变化与作物产量编写组. 气候变化与作物产量. 北京:气象出版社,1992,10:6~53.
- 2 吴秋荣. 山东干旱的特点及减灾对策. 山东农业自然灾害发生规律及防灾抗灾对策. 北京:中国经济出版社,1993,10:77~84.
- 3 傅锦,李文炳. 山东农作物栽培知识——棉花. 济南:山东科学技术出版社,1982,1:35~41.
- 4 王寿元主编. 棉麦两熟栽培. 济南:山东科学技术出版社,1990,9:74~88.

Assessment Model of Cotton Yield Damaged by Drought in Shandong Province

Xue Xiaoping Zhao Hong Chen Yanling Li Hongyi

(Shandong Meteorological Bureau, Jinan 250031)

Abstract

The statistical method was used to analysis the climatic yield of cotton and the climatic factors. The main precipitation factors and the water requirement index are obtained. According to the year's precipitation, the level of cotton yield damaged by drought can be assessed, then the assessment model of cotton yield damaged by drought was developed for the region and the province as well.

Key Words: cotton climate yield drought damage assessment